86-03071/

The Fisheries Research Board of Canada Reports series encompasses studies, symposia, and special reports.

Report No. 1 – "The Way Ahead" Symposium on the 75th Anniversary of the Fisheries Research Board of Canada.

Report No. 2 – The Fisheries Research Board of Canada – Seventy-Five Years of Achievements. By W.E. Ricker.

Report No. 3 – Science for Canada's Shelf-Seas Fisheries. By H.A. Regier and F.D. McCracken.

Published by / Publié par

Environment Canada / Environnement Canada

Fisheries and Marine Service / Service des pêches et des sciences de la mer

Office of the Editor / *Bureau du Rédacteur*

116 Lisgar, Ottawa K1A 0H3

Versatel Corporate Services Limited
Contract KF708-5-0561
Cat. No.: Fs 97-10/4

FRB REPORT

Biological Oceanography in Canada: A Perspective and Review[1,2]

T. R. PARSONS

Institute of Oceanography, University of British Columbia, Vancouver, B.C. V6T 1W5

Contents

ABSTRACT/RÉSUMÉ 2

1. INTRODUCTION 2
2. BIOLOGICAL OCEANOGRAPHY: SOME EARLY INTENTIONS AND LATER DEVELOPMENTS 4
3. BIOLOGICAL OCEANOGRAPHY IN CANADA 6
   - 3.1 Summary of current research programs
   - 3.2 Distribution of biological oceanographers and other marine scientists
   - 3.3 The teaching of biological oceanography (including some examples from institutions in North America and Europe)
   - 3.4 Large-scale biological oceanographic research support facilities.
   - 3.5 National and international agencies of interest to Canadian biological oceanographers
4. THE INTERACTION OF BIOLOGICAL OCEANOGRAPHY AND OTHER MARINE SCIENCES 16
   - 4.1 Marine ecosystems
   - 4.2 Biological oceanography and physical oceanography
   - 4.3 Biological oceanography and chemical oceanography
   - 4.4 Interactions among biological oceanographers
   - 4.5 Biological oceanography and fisheries
     - 4.5.1 The management of fisheries
     - 4.5.2 Potential fisheries
     - 4.5.3 Aquaculture
   - 4.6 Biological oceanography in relation to marine pollution
   - 4.7 Instrumentation, techniques, and facilities
5. PROJECTED CANADIAN NEED FOR BIOLOGICAL OCEANOGRAPHIC DEVELOPMENT 27
   - 5.1 National programs and institutions
   - 5.2 The training and development of biological oceanographers
   - 5.3 Instrument and facility development
   - 5.4 Investigations in pollution research
   - 5.5 International relations
6. RECOMMENDATIONS 34
7. ACKNOWLEDGMENTS 35
8. GLOSSARY OF SOME SCIENTIFIC WORDS USED IN THE TEXT 35
9. LIST OF ABBREVIATIONS USED IN THE TEXT 36
10. REFERENCES 36

APPENDIX I — A prognosis for Canadian benthic biological oceanography *by B. T. Hargrave and C. D. Levings* 38

APPENDIX II — Biological oceanography in Canadian arctic and subarctic waters *by M. J. Dunbar* 46

[1] Reprinted from the *Journal of the Fisheries Research Board of Canada*, 1975, 32(11): 2231–2283.

[2] This report was prepared under contract for the Fisheries Research Board of Canada. The views expressed are those of the author and not necessarily those of the Board.

Abstract

PARSONS, T. R. 1975. Biological oceanography in Canada: a perspective and review. FRB Report No. 4: 1–53.

The history of biological oceanography is reviewed with respect to developments both in Canada and other lands. From this history it is suggested that biological oceanography should be broadly defined as a study of the biology of the oceans. Narrower fields of specialization, such as planktonology, fisheries ecology, or studies on the benthic habitat, should be integrated to provide a better biological basis for understanding ocean communities.

The interaction between biological oceanography and other studies in marine science is reviewed with respect to physical and chemical oceanography, fisheries, and pollution. Specific recommendations with respect to the future development of biological oceanography in Canada are made in the areas of national programs, training, instrument development, international relations, and interactions with other sciences in relation to the solution of practical problems in the marine environment.

Résumé

PARSONS, T. R. 1975. Biological oceanography in Canada: a perspective and review. FRB Report No. 4: 1–53.

L'auteur fait l'historique de l'océanographie biologique et passe en revue ses développements, tant au Canada que dans d'autres pays. Il ressort de ce travail que l'océanographie biologique devrait être définie en termes généraux comme l'étude de la biologie des océans. Des domaines plus spécialisés, telles la planctonologie, l'écologie des pêches ou les études sur l'habitat benthique, devraient y être incorporés comme fondement biologique plus solide à la compréhension des communautés océaniques.

Lauteur examine l'interaction entre l'océanographie biologique et les autres aspects des sciences de la mer en rapport avec l'océanographie physique et chimique, les pêches et la pollution. Il fait des recommandations spécifiques quant au développement de l'océanographie biologique au Canada aux domaines des programmes nationaux, de la formation, de l'instrumentation, des relations internationales et de l'interaction avec les autres sciences, le tout visant à solutionner les problèmes pratiques du milieu marin.

Received April 10, 1975
Accepted June 25, 1975

Reçu le 10 avril 1975
Accepté le 25 juin 1975

1. Introduction

In this report the term "biological oceanography" means a study of the biology of the oceans, including the pelagic and benthic communities (Fig. 1). The subject includes the study of fish as part of the biology of the sea but not as single species, as in research on fisheries population dynamics. The emphasis in biological oceanography has been made on community orientated research and consequently while marine biology may include all branches of marine biological research, biological oceanography in the above sense does not in itself include such subjects as genetics, pathology, or laboratory studies on the physiology and biochemistry of marine organisms, if these are unrelated to ecological considerations of an organism's environment. Obviously a definition of the type given above is difficult to apply rigidly to all types of marine research and overlap among disciplines is to be encouraged and not eliminated by definitions. For many persons the definition may appear too broad; a narrower view of biological oceanography would include only the plankton community and exclude the nekton. However, the dynamics of biological communities cannot be studied properly if one excludes the influence of predators; further, the importance of the plankton community to our commercial fisheries has emerged as an area requiring intensive study in order to evolve better management policies. Thus, both as a matter of good ecology and expedience it seems sensible to include the major species of fish in the sea as part of the area of interest to biological oceanographers.

The report is written in a style which it is hoped will make it understandable to a wide audience including scientific administrators who are charged with policy planning and funding of science. Throughout the report I have considered essentially three levels of science as being the basic tools of the biological oceanographer. These are observation, experimentation, and mathematical modelling. Each one of these levels can give rise to basic discoveries in science and no one part can operate successfully in a national context without the other two. Therefore, one cannot assign priorities to the kind of research a scientist does, but only that there sometimes may be too many of one kind of scientist relative to the number of

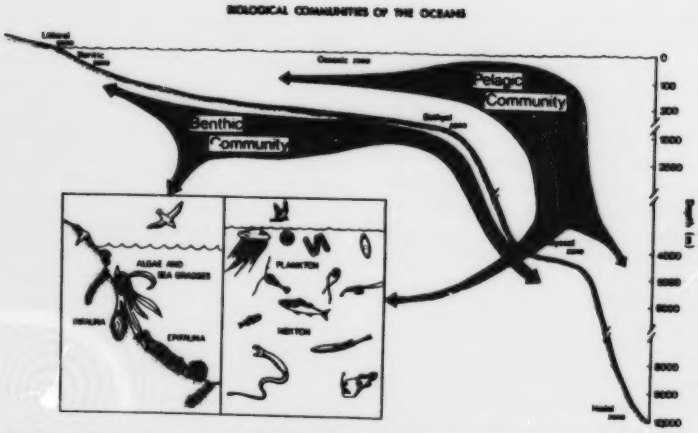


FIG. 1. Biological oceanographic communities (modified from Hedgepeth 1957).

another kind. Further, the most important property in any research organization remains the quality of leadership, and the need for cooperative research should never be interpreted as a need for research by committee.

Of the three scientific approaches given above, the first two, observation and experimentation, need little justification because both are critically examined and each original discovery must submit to verification by other scientists. The same is not necessarily true of modelling. Much has been said recently about what is called the "systems approach" to ecological problems. The word system means different things to different scientists; a simple system of oxygen gains and losses can be modelled for the purposes of finding answers to problems of oxygen conservation for the protection of fisheries. A much more complex model might attempt to describe a natural system involving the growth of a variety of organisms and factors influencing their survival. In both cases, however, the model is only as good as the data that are used to build it and there is no absolute proof of its value in the sense that the only real model of nature is the natural world itself. Still further afield, there are attempts presently being made to ascribe to nature properties which transcend observation and require a new vocabulary of terms, many of which are never given precise definitions. This transcendental science has gained some appeal in ecology because the field has been so poorly supported in the past that the state of our real knowledge lags far behind that in other fields. It is self-evident, in fact, that where strong financial support has been given to other biological sciences, such as medicine and agriculture, the sciences have been highly successful without having to invoke models with mythical components. However, among bureaucratic planners it is attractive to move the responsibility of decision making onto a mathematical model, especially one of considerable complexity. While models may be helpful as subcomponents of management, they must be thoroughly understood by the user (not just the creator) and as Riley (1963) has pointed out, a simple model may often serve the purpose of simulating an event and the need for complex models is not always apparent. Thus, while this report supports the use of models for the analysis of problems in aquatic science, it does so urging extreme caution in the adoption of any model as a tool in management and in particular those models that do not clearly define the data, relationships, and connections that have been used in their formulation.

In the second section of this report I have considered a brief history of biological oceanography because it is helpful to understand how different types of biological reserach in the oceans developed both from academic and practical interests. At the beginning there were so few scientists in marine research that it was usually the same persons who were involved both in the practical and academic questions of ocean life. However, as the number of scientists increased, a division developed between groups of scientists; it is this division that should be mended in order to have an effective national program in biological oceanography.

In the third section of the report I have discussed Canadian activities in biological oceanography in terms of national programs, training,

facilities, and some of the national and international agencies with which the scientist is involved. The section is intended to summarize the current state of biological oceanography in Canada. In comparing the money spent on biological oceanography at different institutions in Canada, a single yardstick has been chosen which is intended to represent salaries plus operating expenses. Because capital expenses are difficult to identify because of cost sharing within institutions, these have been excluded for purposes of inter-institution comparisons.

The fourth section of the report deals with the scientific aspects of biological oceanography and its relationships to other fields of science including physics, chemistry, fisheries, and pollution.

The fifth section of the report identifies specific areas in oceanographic research where additional research and improvements are needed. If it is already recognized in Section 3 that some operation(s) (e.g. oceanographic ships) is at present functioning reasonably well, it is not considered necessary to further identify it as something that needs to continue to function well.

Two special sections have been included in the report as Appendices I and II. These deal with the particular topics of benthic communities (authored by Drs B. Hargrave and C. Levings) and arctic communities (authored by Professor M. Dunbar). I am grateful to these authors for lending the report their expertise in these two areas.

Finally, under recommendations, I have attempted to summarize the discussions of the previous sections (including benthic and arctic communities) and to stress what might be done for the future of biological oceanography. These recommendations are put forth as a basis for further discussion and are of a contemporary nature, governed by the events of our times.

2. Biological Oceanography: Some Early Intentions and Later Developments

The need to learn more about the biology of the oceans started to develop seriously in about the middle of the 19th century. The motivation for scientific investigation came from two different sources. On the one hand, there was considerable academic controversy on what forms of life existed in the oceans; on the other hand, there was serious concern both in Europe and North America over dwindling stocks of fish.

Among academic discussions on life in the sea there were two points that attracted particular interest. The first was advanced by Edward Forbes in 1844 who concluded that there could be no life in the sea below 300 fathoms (Hedgepeth 1957). The second was advanced in 1868 by T. H. Huxley who believed from the examination of preserved benthic samples that there was some kind of original protoplasm in the oceans and he named this 'organism' *Bathybius haeckelii* (Deacon 1971). Both of these observations were essentially refuted by one man, Wyville Thomson, who was the senior biologist and chief instigator of the famous *Challenger Expedition*, 1872–76.

The presence of life at depths greater than 300 fathoms was demonstrated in 1868 during a cruise on H.M.S. *Lighting* off the coast of Scotland. This fact alone could be said to be a starting point for discussions on the need for a major oceanographic expedition. Thomson's observations also affected the science of physical oceanography, because his measurements of deepwater temperature taken at the same time showed that temperature did not remain constant at 4 C with depth in waters below 300 fathoms, a fact that was being accepted in physical oceanography at the time and one that was to be more thoroughly investigated on board the *Challenger*.

The second discovery regarding *Bathybius* was made by Thomson during the *Challenger Expedition* when he showed that this 'organism' was actually an artifact of a preserving medium and was no more than an inorganic precipitate. While these two events in themselves may not appear exciting now, it must be remembered that at the time of their discovery they involved many notable scientists and it was largely through such interests and the efforts of the Royal Society that the early cooperation of the government, and particularly the Navy, was obtained in launching a number of oceanographic expeditions. These efforts reached their academic peak in the *Challenger Expedition* and all the subsequent reporting and ideas which this expedition generated.

From a rather different route, but almost at the same time, many of the same marine scientists became involved in trying to explain why fisheries in Europe and North America were declining. This concern was shown at a time when the total annual world catch of fish (prior to 1900) could not have been more than about five million tons, while today, when we are still concerned with the same problem, it is over 60 mililon tons per year. However, it was during the mid-nineteenth century that man first became concerned with fish stocks and with this concern together with the academic interest expressed above, there grew a need to establish fisheries agencies in different countries, each with a common purpose. These included such organizations as The Royal Commission to Investigate Fisheries Problems (1863), the Commission zur Wissenschaftlichen Untersuchungen der Deutschen Meere (1871) and the United States Commission of Fish and Fisheries

(1873). The concern shown by such national organizations as well as their plan of action is best expressed in the first report of the United States Commission:

> "The objects of the investigation, as authorized by Congress, were, *first*, to determine the facts as to the alleged decrease of the food fishes; *secondly*, if such a decrease be capable of substantiation, to ascertain the cause of the same; *thirdly*, to suggest methods for the restoration of the supply; and *fourthly*, to work out the problems connected with the physical characters of the seas adjacent to the fishing localities, and the natural history of the inhabitants of the waters, whether vertebrate or invertebrate, and the associated vegetable life."

In this statement, and in others that were made at the time, it is apparent that it was not only the fishery which was considered important, but the environment of the fish, including both the physical and biological habitat. In this sense, the aims of the fisheries organizations were similar to the aims of the academic oceanographers in wanting to find out more about the oceans and what processes governed the abundance of marine life.

The establishment of national fisheries agencies served the purpose of bringing scientists together to discuss a problem but at the same time it was realized that there was a need for biological stations where scientists could engage in research on fisheries problems. This thinking coincided with the desires of the more academic workers and consequently there were a number of marine research centers founded, many of which are still located in the same places today. These included the Stazione Zoologica in Naples (1873), the U.S. Fisheries Commission Laboratory at Woods Hole (1885), the Marine Biological Association Laboratory at Plymouth (1888) and a marine laboratory at Kiel (1870) founded by the Prussian Commission.

In Canada a distinctive research-oriented arm of the Department of Marine and Fisheries, grew out of the appointment in 1892 of Professor E. E. Prince as Commissioner and General Inspector of Fisheries in Canada. Professor Prince came from the St. Andrews Marine Laboratory, Scotland, and was largely instrumental in the founding of Canada's first marine Biological Station at St Andrews, N.B. (although as a floating laboratory it was for some years towed to different locations on the Atlantic Coast). In setting up this station, Professor Prince considered that Canada was behind other countries from his statement, ". . . it was shown that Canada was the only civilized country in which no Marine Biological Station had been established." (Prince 1901). Subsequently, a second station was established on the west coast and began work at Nanaimo, B.C. in 1908. In setting up these two stations Professor Prince left no doubt as to the extent of the work that should be conducted, as reflected in the following statement:

> "In each locality where the station has been placed the fish and fisheries characteristic of the district adjacent, have occupied the attention of the staff, but faunistic, botanical, chemical and other studies have been carried out assiduously. A thorough understanding of the conditions essential to the propriety of any fishing industry is only possible when the various biological and physical features of the coast and the waters concerned have been entertained. The study of the 'environment' of fish and fisheries is as necessary as the study of the fish themselves and their habits or of the practical methods of exploiting fishery resources." (Prince 1907)

The work of the biological stations of Canada was managed by a Board that later became the Fisheries Research Board of Canada.

At the same time as Canadian marine science was developing a formal identity, other notable developments were taking place that affected the course of biological oceanography. These included the founding of the International Council for the Exploration of the Sea (ICES) (1902), the benevolance of Prince Albert I of Monaco in founding the Institut Océanographique (Paris 1906) and the Musée Océanographique (Monaco 1910) and the appearance of certain textbooks, notably *Depths of the Oceans* (Murray and Hjort 1912).

The setting up of ICES largely resulted from a conference held in Stockholm in 1899 organized by Gustaf Eckman and Otto Pettersson. The purpose of the Council was to investigate hydrographic methods, establish an international laboratory and study the problems of overfishing. However, as Cushing (1972) has pointed out, some of the first work of the Council showed that the problem of sampling fish was so great in terms of the variance of catch that it was decided to drop the subject of 'overfishing' because it lacked valid statistical definition.

In France, the leadership of Prince Albert I of Monaco in financing and participating in oceanographic voyages of exploration and in founding two major institutions must be held up as an early example of later munificent efforts by individuals that were to lead to the founding of marine institutes in other parts of the world.

The writing of *Depths of the Oceans* by Murray and Hjort (1912) was to lead to an interesting development in Canada. The book is largely an account of findings made by Murray and Hjort during cruises of the Norwegian vessel, *Michael*

Sars. It was on the basis of this research experience that Dr Hjort was then invited to conduct similar investigations in Canadian waters which he did during the years 1914–15. The expedition was known and published under the title of the Canadian Fisheries Expedition, 1914–15 (Hjort 1919). The character of the expedition was very much in line with the type of research being carried out by the Board's Biological Stations, and indeed, negotiations leading to the expedition as well as the Preface to the report, were all part of the work of Professor Prince who had persistently upheld the need for a multidisciplinary approach to fisheries problems.

With the success of several major oceanographic expeditions and the founding of marine laboratories, it was not surprising to find that the science of oceanography was rapidly advancing both in Europe and North America. The principal center for plankton research had developed at Kiel where the early work of Möbius had led on to the classical work of Victor Hensen (1887); the traditions of these studies have been maintained up to the present by several generations of outstanding planktologists. Benthic studies and definitions of marine communities were developed by the Danish school under C. S. J. Peterson while coral reef ecology became the speciality of the American Alexander Agassiz who made many other notable contributions to marine research. During the period 1920–40, much of the basic work on marine chemistry was carried out in Europe by such people as Harvey (Plymouth) and Brandt and Wattenburg (Kiel) as well as by Thompson and Ketchum in the United States, to mention only a few.

Thus by the 1940s the field of biological oceanography had progressed enormously in the areas of the systematics of plankton and benthic fauna, community organization, and in the related field of nutrient chemistry. Further work on the relationship between phytoplankton and zooplankton, and the physical/chemical environment of the sea had become formalized to an extent that Riley (1946; 1947) and Sverdrup (1953) were able to give reasonable explanations in terms of mathematical models describing conditions governing the initiation of plankton blooms. However, in this later history there was a surprising lack of multidisciplinary approaches to fisheries problems which had been one of the cornerstones in both the founding of marine laboratories as well as in the early oceanographic expeditions. The reason for this appears in the evolution of models on population dynamics. These started to be formulated in the early part of the 20th century (e.g. Baronov 1918; Thomson and Bell 1934) and were continued through to present times with considerable refinement (e.g. Ricker 1945; Beverton and Holt 1957; Schaefer 1954). The models had in common an exclusion of the environment as a determinate factor in fisheries management. Thus, in spite of the early work of Hjort (1914) and others showing that large populations of fish were the result of good survival of a single year-class, the study of fish as part of the biology of the seas was largely pursued in isolation from the rest of marine science, relying as it did only on the most easily obtained statistics of fish populations, such as catch and effort. The one clear exception to this was the growth of physiological studies on fish (e.g. Prosser 1955, and many others, including the work at the Plymouth and Naples laboratories). While these studies were in many cases not motivated by ecological considerations, Kinne (1957) has pointed out that the physiological capability of organisms is very much a part of the ecology of the environment ("physiologische Ökologie").

In conclusion, it appears that the divergent views of man's control, through the harvest of marine resources, as opposed to nature's control, through environmental factors, has left a gap in fisheries management policies. This situation needs to be rectified through a fuller understanding of the biology of the oceans, with special attention being paid to the relationship between the harvestable resources and the environment.

3. Biological Oceanography in Canada

3.1 Summary of Current Research Programs

The distribution of research funds in biological oceanography is shown in Table 1. The total funds in column two amounts to about $3.1 million per year for 1973/74. This total could possibly be doubled if one were to include capital expenses related to biological oceanography (e.g. ships, buildings, etc.) and borderline programs, such as some types of fisheries and pollution research. At this level biological oceanography represents between 5 and 10% of the total federal government expenditure in marine science and technology as projected by Stewart and Dickie (1971) for the year 1973. However, these figures are only crudely comparable because Table 1 includes provincial government salaries to university staff and the Stewart and Dickie report excludes National Research Council (NRC) contributions. A more directly comparable figure is the difference between Fisheries and Marine Service (FMS) government research in Atlantic and Pacific laboratories, compared with the total for biological oceanographic research in the same

TABLE 1. Funding[a] of biological oceanographic research by institutions in Canada (1973–74).[b]

Institution	Amount ($000)	Program title	Comments
Marine Ecology Laboratory, FMS, Dartmouth	400	Biological Oceanography	Additional oceanographic programs carried out under fish stock assessment ($734) and pollution ($294).
Halifax Laboratory, FMS	32	Aquatic Food Web	
St. Andrews Biological Station, FMS	143	Applied Ecology	Program largely organized to study the effects of pollution.
Arctic Biological Station, FMS	282	Biological Oceanography	Not including related studies on marine mammals and fish.
Pacific Biological Station, FMS, Nanaimo	100	Environmental change on Aquatic Resources	Including studies at Ocean Station 'P' but excluding related studies on fisheries.
Pacific Environment Institue, FMS, Vancouver	171	Phytoplankton and Benthic Ecology of Estuaries	Additional oceanographic program associated with fisheries ($34) and with pollution.
Zoology Division, National Museum	269	Biological Oceanography	Includes the budget of the Canadian Oceanographic Identification Center.
Department of Oceanography, Dalhousie University	200	Biological Oceanography	
Department of Biology, Dalhousie University	78	Coastal Zone Productivity; Environmental and Genetic Aspects	Part of a 4-year NRC negotiated grant which includes certain aspects of near shore biological oceanography.
Atlantic Regional Laboratory, NRC	125	Ecology of Marine Plants	Part of a larger programme on the cultivation of marine plants.
Institute of Oceanography, UBC	360	Biological Oceanography	Not including Department of Botany and Department of Zoology programs in seaweed research and fisheries.
Marine Science Center, McGill University	85	Biological Oceanography	
Laval University	330	Biological Oceanography	Average funding over 3-year period, including the formation of GIROQ and participation by scientists at the Universities of Montreal and Sherbrooke.
University of Victoria	42	Biological Oceanography	
University of Quebec, Rimouski	115	Biological Oceanography	
Universitiy of Guelph	275	Biological Oceanography	Including ecological studies on marine mammals and some pollution research.
Huntsman Marine Laboratory, St. Andrews	12	Eutrophication of the St. John River Estuary	Study conducted by scientists at the University of New Brunswick.
Marine Laboratory, Bamfield	10	Kelp bed ecology	Study conducted by scientists at Simon Fraser University.
Memorial University	90	Individual programs in the Dept. of Biology and ecological studies at the Marine Science Research Laboratory	NRC grants to individuals for studies in marine biology, not including parasitology.

[a]Salaries and research operating costs excluding ships and major capital expenses such as buildings and their operation.

[b]Source of data: FMS Work Plan Overview, 1973–74: NRC and personal communications.

laboratories (Table 1). Fisheries and Marine Service biological oceanographic research funds total about $1 million compared to a total budget for the same stations of about $34 million; a statistic that makes expenditures for biological oceanography appear between 3 and 6% of the total FMS research budget, the higher figure being dependent on the inclusion of related expenses not included in Table 1. Further, the division of research funds between government laboratories (FMS, NRC laboratories and the National Museum) totals about $1.5 million compared with a total of about $1.6 million for university research. Thus, the division between academic and applied research is about 50% to each. However, the operation of large research vessels and salt water facilities in government laboratories would show up as a very large expense by government if capital costs and maintenance had been included in Table 1.

Biological oceanographic research in eastern Canada is divided among at least 10 institutions (Table 1), ranging in location from St. John's, Nfld. to Guelph, Ont. While the list is inclusive of major programs, it should also be pointed out that individual interests in marine biology exist at practically every university in Canada and this is particularly true for smaller universities, such as the University of New Brunswick and Simon Fraser University, which are located near the sea. With the geographic separation in biological oceanographic effort it is not surprising to find that research programs have tended to develop in isolation from one another and consequently to represent discrete centers of research within the general field of biological oceanography. Further, the motivation for research is spread between the wholly academic research of an individual to some coordinated, mission oriented research found in government laboratories.

The largest single biological oceanographic research program is conducted by the Marine Ecology Laboratory, Dartmouth, N.S. This program is specifically designed to understand the biological oceanography underlying fisheries production. It is an *ecosystem* approach to fisheries management and it is based on a belief that present management strategies, as represented by single species population dynamic models, are unsatisfactory for the management of fisheries, including predictions on sustainable yield. In detail, the program involves a study of production and transfer processes at lower levels in the food chain. The research includes both field and laboratory studies on plankton and fish. Studies are conducted in selected coastal embayments that are essentially treated as *biological* models of the larger world. Areal surveys and estuarine research are conducted in the Gulf of St. Lawrence and particular attention has been given to the effect of river discharge on fish catch.

Close association with more academic interests is maintained between the Marine Ecology Laboratory and the Departments of Oceanography and Biology at Dalhousie University, Halifax, N.S. At the Department of Oceanography there are a number of programs that are the product of individual efforts. These include the development of a towed in situ plankton counter, studies on deep sea organisms, including both plankton and infauna, and research on particulate organic carbon in the sea. Coordinated research among faculty researchers is carried out during oceanographic cruises across the Scotian Shelf. These cruises are designed partly for training, but serve the dual purpose of assisting in the survey work of government laboratories. The Department of Biology at Dalhousie University also has a marine biological program, certain aspects of which fall under the definition of biological oceanography used in this text. The program entitled "Coastal Zone productivity" has recently been funded by NRC as a novel synthesis of ecological and genetic approaches to the study of coastal productivity. While my report does not deal with genetics, the inclusion in the above program of environmental studies on near shore habitats, particularly with reference to studies on the nitrogen budget of a coastal environment, represents important biological oceanographic research. These studies are also in part an extension of research on the dynamics of seaweed production which was earlier being carried out at the Marine Ecology Laboratory, Halifax.

The NRC Atlantic Regional Laboratory has maintained a long standing and excellent tradition on the cultivation of seaweeds and other algae. Their program deals in part with the ecology of near shore environments and is also concerned with the aquaculture of algae.

At the FMS Halifax Laboratory some work on the transfer of fatty acids in the marine food web has proved to be of rather unique importance to the study of food webs in the sea. Food transfers have been found through the detection of specific fatty acids in a variety of marine organisms. These include transfers such as between jellyfish and cod, or in tidal estuaries from epiflora and detrital/bacterial materials through infauna and epifauna to local fish stocks. Links in the food web have been established by chemical analysis where ecological studies might have proved more time consuming and costly.

A field study of benthic organisms in estuarine environments has been included in Table 1 as being operated from FMS, St. Andrews, N.B.

Although this report does not deal with pollution programs per se, the St. Andrews program appears to be concerned in part with the biological impact of a stressed marine environment and has been included for this reason.

In Newfoundland, biological oceanographic studies are not identified as such but under the definition used in this text they are largely centered at Memorial University. The studies include a coordinated project of near shore processes associated with industrial development in Placentia Bay, biological studies on fish in connection with the Low Temperature Ocean Research Apparatus (LORA-I) project and a number of individual projects on amphipods, lobsters, mussels, scallops, and seaweeds. Some of the latter projects are designed to apply environmental data to aquaculture projects. In general, however, oceanographic programming is on an individual basis and because there is no ready accessibility to an oceanographic ship, programs are of necessity limited to near shore environments. In addition to these studies, some food web studies of commercially important fish are conducted at the FMS laboratory in St. John's, Nfld.

Coordinated biological oceanographic studies under Groupe interuniversitaire de recherches océanographique de Québec (GIROQ) have been centered at Laval University and are mainly concerned with the St. Lawrence estuary. Of the 25 oceanographic projects in this program, 15 are essentially biological. These iclude inventories of the estuary fauna and flora, seasonal studies on nutrients and production, descriptive biological oceanography of the St. Lawrence estuary and specific chemical studies on nutrients, organic materials, and hexuronic acids of seaweeds.

In addition to the biological oceanographic studies under GIROQ there has recently been a second front in the development of oceanography in Quebec. This is represented by the University of Quebec at Rimouski where there are two organizations, l'Institut national de la recherche scientifique (INRS — Océanologie) and la Section d'Océanographie, Université de Québec à Rimouski (SOUQAR). Both these organizations are engaged in near shore estuarine productivity research with a particular emphasis on nutrient studies and the analysis of particulate materials.

A third organization in Quebec carrying out research in biological oceanography is the Marine Science Centre of McGill University. Here the program is probably the most geographically diverse in Canada as studies include projects in the arctic as well as subtropical research at McGill University's Bellaires Institute in Barbados. Consequently, programs are equally diverse and are generally represented by individual efforts in zoogeography, plankton feeding, coral reefs, productivity studies in the St. Lawrence estuary, and environmental studies in the arctic.

Guelph University is engaged in the teaching of marine science but has some graduate research on the ecology of zooplankton. In particular, however, this university is noted for its studies on marine mammals, particularly Atlantic seals and small cetaceans. With the exception of the seal studies the field approach to marine science at Guelph University is largely seasonal and as such it concentrates on migratory marine animals, such as mammals and birds.

The Arctic Biological Station conducts studies throughout the Canadian arctic with particular research programs centered out of Frobisher Bay and the Mackenzie delta. The programs are designed to increase our knowledge of arctic marine ecology including studies on all aspects of the marine food chain from phytoplankton, zooplankton, and benthic invertebrates through to marine mammals. Part of the program has recently become diverted toward an impact study of pollutants, with particular reference to oil exploration.

The Canadian Oceanographic Identification Centre (COIC) in Ottawa performs a highly useful function in the sorting and identification of marine organisms collected by various agencies from Canada's three oceans. Together with the Zoology Division of the National Museum (of which COIC is a part) the sorting and identification programs cover a wide spectrum of marine organisms from phytoplankton to benthic invertebrates. In addition, the COIC is engaged in the preparation of a number of texts on plankton identification and laboratory procedures.

Biological oceanography on the Canadian west coast is divided among at least five institutions, all of which are located in the southern part of British Columbia. In general, the programs of these institutions are at present almost exclusively concerned with near-shore processes, particularly in the Strait of Georgia. Earlier biological oceanographic studies in the open waters of the Pacific are not being maintained, with the exception of a minor program at Ocean Weather Station "P."

The FMS Pacific Biological Station, Nanaimo, is currently engaged in an interdisciplinary program of estuarine processes including a study of the abundance, distribution, dispersal, feeding habits, and interactions of commercially important fish in the Strait of Georgia. Biological oceanographic studies in the Gulf of Alaska are at present confined to the maintenance of a monitoring program at Ocean Weather Station "P" where some data on plankton and nutrients have been collected since 1958. At the FMS Pacific

Environment Institute biological oceanographic studies are geared toward pollution impact studies and specific areas of interest are associated with port development in estuarine environments. The program includes studies on the plankton and benthic communities.

The Institute of Oceanography at the University of British Columbia is engaged in several individual research projects on phytoplankton (including red tides), zooplankton ecology and the biological effects of heavy metals. Some cooperative studies on biological phenomena are conducted with physical oceanographers and a large cooperative program on controlled aquatic ecosystems is carried out as part of an International Decade of Ocean Exploration (IDOE) program. The latter program is located in Saanich Inlet, B.C., and is primarily concerned with the low level chronic effects of pollutants on the marine food web, including both pelagic and benthic communities. At the University of Victoria, B.C., there is an active undergraduate teaching program in biological oceanography and individual research projects on particulate organic material, benthic organisms and zooplankton in coastal inlets.

3.2 Distribution of Biological Oceanographers and Other Marine Scientists

A breakdown of marine scientists into six disciplines is reported in Table 2. These data were obtained from the International Directory of Marine Scientists but in some cases the categorizing of a scientist into one or other of the disciplines reported in Table 2 and 3 may be somewhat arbitrary and may not entirely represent smaller institutions in Canada. Nevertheless, in general the data show that the largest group of marine scientists is in fisheries, closely followed by biological oceanographers and physical oceanographers. Considerably smaller groups engage in the disciplines of geological and chemical oceanography and in engineering and instrument development. However, in the latter two groups it is apparent that a phenomenal growth in the number of scientists has occurred in the last 5 yr. This may be attributed to an increased number of chemists in marine pollution research and to private enterprise and government support for ocean engineering, including instrument development.

Stewart and Dickie (1971) used a different basis for classifying marine scientists in their report because their total number of scientists in 1969 was considerably greater than the number reported in the International Directory in 1974. However, from their projected increase for an 11-yr period, 1969–80, it is apparent that Fisheries and Biological Oceanography, which they project together at a 5.5% increase per year, is growing at nearly twice this rate in the first 5 yr of the period. This may in part reflect the very rapid growth in Marine Biological studies at our universities which Stewart and Dickie (1971) reported as increasing in student enrollment at a rate of 35% per year. Some of these persons will have moved into the manpower market over the last 5 yr and much of this increased employment in Fisheries and Biological Oceanography may be associated with pollution research. On the other hand, the growth of physical oceanographers at 5% per year is lower than the 11% projected figure; some of this difference may be due to the inclusion of engineering with physics in the Stewart and Dickie report. Only Geology and Geophysics which Stewart and Dickie (1971) projected as requiring a 9% increase per year appears to be fulfilled in the data given in Table 2.

A further division of biological oceanography into subdisciplines has been made in Table 3. In these categories persons working on zooplankton and higher trophic levels include all biologists working on community structure as described in the definition of biological oceanography used in this report. This category does not, however, include any of the fisheries experts in Table 2, who work on single species population dynamics. From Table 3 it is apparent that scientists working on problems of the pelagic zone are about twice as numerous as those working in benthic communities, including seaweed research. This may be justified on the grounds that the benthic zone does not serve as a nursery ground for many economically important species; in fact, quite the opposite, it is the pelagic zone which is the nursery ground for many of the early life stages of the benthic community and consequently it may be in the pelagic zone that much of the year-class strength of the benthic organisms is decided in terms of larval settlement.

When the number of scientists is considered from the point of view of the number working on different trophic levels in the sea, a picture is obtained as shown in Fig. 2. This figure was derived by adding the number of scientists working on benthic fauna to the zooplankton group (Table 3, both groups largely study herbivorous feeders), and contrasting this with the number of fisheries scientists, Table 2, and the sum of the phytoplankton and seaweed groups, Table 3. From this distribution of scientists it is apparent that the major research effort in marine biology is going into a few species of animals at the top of the food chain. This is dictated by the economics of wanting to understand more about

TABLE 2. Distribution of marine scientists in Canada, by discipline.

Discipline	Number of scientists 1969[a]	1974[b]	% Increase/Year
Fisheries	90	139	9
Physical Oceanography	85	108	5
Biological Oceanography	74	122	10.5
Geological Oceanography	39	59	8.5
Chemical Oceanography	10	33	27
Engineering and Instrument Development	16	32	15

[a]FAO, International Directory of Marine Scientists 1970.
[b]Revision to FAO International Directory of Marine Scientists obtained from Secretary, Canadian Committee on Oceanography.

TABLE 3. Distribution of biological oceanographers in Canada, by discipline.

Discipline	Number of scientists[a], 1974
Zooplankton and higher levels of pelagic production	42
Phytoplankton and primary production of plankton	25
Seaweed research	15
Benthic research (fauna)	20
Other (microbiology and unspecified)	20

[a]Revision to FAO International Directory of Marine Scientists obtained from the Secretary, CCO.

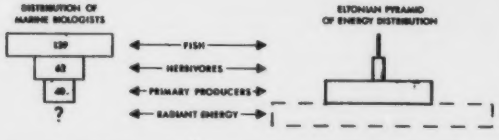


FIG. 2. Distribution of marine biologists (numbers from Tables 2 and 3) and an Eltonian pyramid of energy distribution in the sea. (A scale drawing of this pyramid in terms of energy would actually be better represented by order of magnitude differences in the size of the rectangles shown.)

what is actually harvested by man. However, the complexity of marine life as well as the total amount of energy increases as one goes down the food chain, as illustrated by the Eltonian pyramid in Fig. 2. Since the top part of the food chain is wholly dependent on the bottom it would make more scientific sense to understand *how* the lower trophic levels support the few successful species of commercially important fish in the sea. Taken one step below the primary producers to the distribution of radiant energy in the sea, since Strickland's (1958) review we have no one in Canada who identifies himself as a specialist in this area with respect to biological productivity — yet it is this very important parameter entering the surface skin of the ocean, that sustains all marine life, including our commercial fisheries. Fisheries scientists often in fact, refer to the 'sustainable yield' of fish while giving no thought to how the yield is actually sustained by the biology of the oceans.

3.3 THE TEACHING OF BIOLOGICAL OCEANOGRAPHY (INCLUDING SOME EXAMPLES FROM INSTITUTIONS IN NORTH AMERICA AND EUROPE)

The University of British Columbia and Dalhousie University — Table 4 gives the general teaching program of biological oceanography at Canada's two universities at which there are centers of oceanographic research; these programs are compared with requirements at the University of Washington and Scripp's Institution of Oceanography, California. In all cases there is a core course requirement for graduate students and this covers the four major disciplines within oceanography. Starting in 2nd year of graduate studies, students are generally required to take some additional courses as shown in the second half of Table 4. The latter list of courses may not be all inclusive of possible options and in fact additional courses may be taken by biological

TABLE 4. Graduate teaching programs[a] in biological oceanography at the Institute of Oceanography, The University of British Columbia (IOUBC) and the Department of Oceanography, Dalhousie University (DODU) compared with the Department of Oceanography, University of Washington (DOUW) and Scripps Institution of Oceanography (SIO).

Courses[b]	University			
	IOUBC	DODU	DOUW	SIO
1st and 2nd year course requirements				
Physical Oceanography	2	3	10	3
Chemical Oceanography	2	3	5	3
Geological Oceanography	2	3	6	3
Biological Oceanography	6	3	8	5
2nd and 3rd year optional courses				
Plankton ecology/advanced biological oceanography	—	2	12	5
Statistics of marine populations	—	—	12[c]	6[c]
Population marine community ecology (models)	—	—	12[c]	3
Deep sea biology	—	—	3	3
Icthyology	6	3	?[c]	5
Advanced Invert. Zoology	4	—	9[c]	3
Marine plants	6	3	3	6
Marine microbiology	—	—	?[c]	9
Animal behaviour	3	2	?[c]	5
Fisheries biology	6	—	?[c]	c
Oceanographic methods	2	3	6	d
Benthic ecology	—	3	3[c]	—
Physiology and biochemistry of marine organisms	—	—	—	10
Seminars	yes	yes	yes	yes
Comprehensive exam	yes	yes	yes	yes

(—) no comparable course (?) availability of this course is uncertain

[a]This table should not be used for student guidance because some course requirements vary with student background.

[b]Courses are given in credits. One credit = 1 h lecture/wk or 3 h lab/wk for 10 wks.

[c]Offered every 2 yr or on an irregular basis.

[d]Included as shipboard experience.

[e]Courses offered partly or wholly outside the department.

oceanographers in other advanced oceanographic subjects as well as in such subjects as organic chemistry, limnology, and terrestrial ecology.

From Table 4 it is apparent that the heaviest course requirement exists at the University of Washington; this department also differs from the other three shown in that it offers undergraduate degrees in oceanography. In general the requirements for course work in the 2nd and 3rd years of graduate study are heavier at both SIO and the University of Washington than at the two comparable Canadian centers. In particular both SIO and the University of Washington require biological oceanographers to take either of two mathematical courses designed to teach modelling of trophic relationships in the sea or the statistics of plankton populations, with particular reference to patchiness and sampling. At present it does not appear that similar courses exist in the Canadian oceanographic teaching curriculum, although some comparable courses for terrestrial ecologists can be taken as options at both Dalhousie and UBC. At UBC there are several professors teaching in fisheries (Dept. Zoology) while no similar group exists at present at Dalhousie University; however, Dalhousie has re-

TABLE 5. Graduate and undergraduate students attending courses in biological oceanography in Canada (1972–74).

	IOUBC[a]	Dept. Oceanogr.[a] Dalhousie	Mar. Sci.[a] centre McGill	Laval U.[b] (Quebec)	U. Quebec (Rimouski)	U. Victoria	Guelph U.
Undergraduates attending biological oceanographic courses	68	150	99	40	—	74	205[c]
Graduate students in biological oceanography							
M.Sc.	6	5	12	13	6	7	14
Ph.D.	11	13	7	3	—	—	2
Total	17	18	19	16	6	7	16

[a]Not including graduate students in the Departments of Zoology, Botany, or Biology taking graduate degrees on subjects related to marine biology.

[b]Includes some persons associated with GIROQ at the Universities of Montreal and Sherbrooke.

[c]Including some persons taking summer courses at the Huntsman marine laboratory.

search and teaching strength in benthic ecology which is lacking at IOUBC. All four universities require a thesis to be written for M.Sc. and Ph.D. degrees in oceanography, seminars by graduate students, and a comprehensive exam (generally after 1 yr).

In addition to the data on IOUBC and Dalhousie University in Table 4, biological oceanography is taught at a number of other universities in Canada as well as at summer courses at the Bamfield (Pacific coast) and Huntsman (Atlantic coast) marine stations. In these programs the teaching of biological oceanography is very often part of an undergraduate curriculum such as a marine biology option. However, graduate studies in biological oceanography are also carried out at various institutions as indicated by the number of graduate students shown in Table 5. From these figures it is apparent that almost as many graduates in biological oceanography are trained outside Canada's two centers of oceanography and at the Marine Science Center (McGill University) as inside; however, one difference in Table 5 is that of the 54 students at IOUBC, Dalhousie, and McGill, 37 are engaged in Ph.D. degrees while of the 45 students at other institutions, less than a quarter are enrolled in a Ph.D. course.

In addition, it is noted in this table that a number of graduate students located in the Departments of Botany, Zoology, and Biology at UBC, Dalhousie, and McGill who are working in Marine Biology have not been included in the numbers shown. Some of these students might have been included as biological oceanographers under the definition of this report (e.g. seaweed zone ecology, see Table 1, Department of Biology, Dalhousie University). Thus the role of these three universities in the training of biological oceanographers is probably underestimated by the data in Table 5.

The teaching of graduate courses in biological oceanography at Canadian institutions other than those shown in Table 4 all include seminars and a thesis in addition to the following:

Marine Science Centre, McGill University — Required courses for all graduate students are the Marine Environment, Biological Oceanography, and Descriptive Oceanography. Generally it is also required that Advanced Marine Ecology be taken together with one or two optional courses including Advanced Zoology of Molluscs and Crustacea, Tropical Marine Ecology, and Aquatic Pollution. In this teaching curriculum it should be noted that McGill University operates a laboratory in Barbados and this is used by graduate students and staff to carry out marine studies in a subtropical environment.

Department of Biology, Laval University — At Laval University teaching of biological oceanography starts in the 2nd year of undergraduate studies together with an introductory course in physical oceanography. In the third year of studies there are four additional courses in biological oceanography including a field exercise.

Graduate student training at Laval University includes courses in the Ecology of Fish, Ecosystem Thermodynamics, Mathematics for Ecologists, Problems of Ethology, Population Dynamics, and additional advanced courses in marine ecology including intertidal organisms.

University of Quebec, Rimouski — The University of Quebec program in biological oceanography is specifically for the training of M.Sc. students. Courses offered include biological, physical, chemical, and geological oceanography as

well as a course in Marine Ecology, Phytoplankton Ecology, and Zooplankton Ecology.

University of Guelph — The University of Guelph offers ten courses in marine science for biological oceanographers. These include one course in physical oceanography, four courses in Fisheries (Icthyology and Management), one course in Marine Biology which includes a section on paleogeography, a field course held at the Huntsman Laboratory (St. Andrews, N.B.), one course in marine microbiology, and two courses on resource utilization. Undergraduate training for marine scientists is designed to emphasize chemistry, mathematics, and physics together with such practical courses as computer programming and electronics.

Department of Oceanography, Southampton University (U.K.) — Graduate training in biological oceanography at the University of Southampton is divided into three degree courses; the normal thesis degrees leading to a M.Phil. or Ph.D., and a non-thesis M.Sc. The two former degrees are similar in their requirements to those taken at IOUBC or Dalhousie University. However, the non-thesis M.Sc. degree in oceanography is not available in Canada and because it trains a cadre of "technologists" who may be particularly useful for future studies in oceanographic research, a short description of the course appears useful.

The M.Sc. non-thesis degree is a 12-mo course starting in September and consisting of 10 wk of introductory lectures as follows:

10 lectures	Introductory Geology and Geophysics
20 lectures	Descriptive Physical Oceanography
25 lectures	Introductory Biological and Chemical Oceanography
5 lectures	Elements of Navigation

During this period the student also carries out some practical work and attends tutorials and seminars. The practical work includes both laboratory sea water analyses and boatwork. After this section of the course, the student writes a qualifying examination.

Following these introductory courses students select five specialized option subjects from 14 advanced courses, each one of which is given in a 2-wk period. The list of option courses generally covers the whole field of oceanography (but not fisheries). Following this period of advanced training the student is required to carry out a research project which must be completed and handed in by the end of September. Final examination is by staff members and an external examiner who reads the projects and visits the University for the purpose of personally examining the students on their work.

Finally it is of interest to note that this type of non-thesis degree is by no means unique in the United Kingdom and that many fields of science at different universities in the U.K. offer similar non-thesis M.Sc. degrees (e.g. meteorology, agriculture).

Institut für Meereskunde, Kiel (Germany) — The training of biological oceanographers at the Institut für Meereskunde follows a very different pattern than that generally found in North America. Training starts at the undergraduate level with introductory courses in both biological oceanography and fisheries. Courses include taxonomy, biological productivity, descriptive physical oceanography, chemical oceanography, and population dynamics. An original thesis project is then required and this takes 6 mo of field training and up to 1 yr for completion. Students are required to give seminars, attend special lectures and spend some time at sea. Two different diplomas can be obtained from this curriculum; one is obtained after 4 or 5 semesters and the other after 8 semesters. Graduate degrees equivalent to a Ph.D. are obtained after a further 3 or 4 yr of research with little or no formal course requirements other than attendance at seminars and special lectures.

3.4 Large-Scale Biological Oceanographic Research Support Facilities

The most important facility to have available in oceanography is a vessel. Canada's fleet of oceanographic vessels has undergone a marked improvement over the past two decades and it is probably true to say that our ship facilities for biological oceanographic studies are among the best in the world. Further the operation of these vessels by government agencies such as the Department of National Defense, the Department of the Environment (DOE), and the Department of Transport has been efficient, and the cooperation of captains and crew with biological oceanographers has been excellent. Under a general agreement between member agencies of the CCO it has further been possible to extend the use of government vessels to universities where they are used for research and training. This arrangement, for which the universities do not pay, has been a great assistance to the development of oceanography in Canada. Through CCO the three universities that are designated to benefit from this program are the University of British Columbia, McGill University, and Dalhousie University; in fact many other universities have used govern-

ment vessels at one time or another. Programs in biological oceanography have made use of such large vessels as the Weatherships (5350 tons) on the west coast, as well as smaller vessels such as the CSS *Vector* (550 tons). Similar studies on the east coast have included the use of the CSS *Sackville* and CSS *Hudson*. In addition the University of Victoria is constructing its own research vessel of ca. 50 ft length for near shore research.

For biological oceanographers the second most important large-scale facility is generally some kind of laobratory saltwater system. In government laboratories there are reasonable facilities at the Nanaimo, B.C., Pacific Biological Station, the Pacific Environment Institute (West Vancouver), St. Andrews, N.B., Biological Station, the Halifax Laboratory, and a recycling system at the FMS Arctic Unit. All these laboratories except the last are also located on the seaside so that in addition to the laboratory salt water facility, there are also opportunities to carry out certain experiments off docks or from nearby field facilities. At universities there are seawater facilities associated with the Marine Laboratory (Bamfield, B.C.), the Huntsman Laboratory (St. Andrews, N.B.), Memorial University (Logy Bay, Nfld.), and a recycling system at UBC and Guelph. However, by far the largest and most elaborate saltwater facility is operated by the Department of Oceanography, Dalhousie University. This facility is called an Aquatron and consists of a pool tank (50 ft diameter, 13 ft deep, containing 184,000 U.S. gallons), a tower tank (35 ft deep, 12 ft diameter, containing 30,000 U.S. gallons), experimental aquarium rooms (10 separate systems) and a high pressure laboratory for studies on deepsea organisms and biological processes.

Underwater biological observations from manned vehicles have been carried out sporadically using vessels on temporary loan from the government or industry. The only permanent saltwater underwater habitat in Canadian waters is located in Newfoundland and operated by Memorial University. The habitat, LORA-I, has been operational since 1971 and rests in 30 ft of water. The hull of the habitat is 16 ft long and 8 ft in diameter; its use by biologists has been primarily as a research unit for conducting underwater observations on fish.

Large plastic water columns that can be used to study the pelagic food chain of the sea have been made available to IOUBC biological oceanographers through the IDOE program: Controlled Ecosystem Pollution Experiment (CEPEX). These columns are located in Saanich Inlet, B.C. and are made in two sizes; one group of six containers, each 2 m in diameter and 15 m deep, and one group of three containers, each 10 m in diameter and 30 m deep. This facility became operational in 1974 and has been used to study the effects of pollutants on marine food chains.

3.5 National and International Agencies of Interest to Canadian Biological Oceanographers

Two national agencies which support most of the research on biological oceanography in Canada are DOE and NRC. The former, through its FMS, is responsible for maintaining the large government laboratories shown in Table 1. In addition, however, FMS provides considerable funding under contract to universities and to private enterprise. These funds are for the direct or indirect support of studies on the biology of the oceans (e.g. university grants for studies on fisheries; grants to consulting companies on the effects of oil spills). The NRC supports biological oceanography through individual grants to university researchers (mainly through an NRC awards subcommittee on Population Biology) as well as through a scholarship and major development program. In addition to these two government agencies, smaller amounts of financial assistance have been given for biological oceanographic research by a number of private enterprise organizations, including the Donner Foundation, Shell Canada, Imperial Oil, and the International Copper Research Association. More recently, some oil companies have cooperated with the Canadian government in undertaking a research program on the Beaufort Sea. The program is called the Arctic Petroleum Operators Association Project 72 and is supported by a number of companies, including Dome Petroleum Ltd. and the Union Oil Company of Canada. At least part of this survey involves biological oceanographic studies on plankton and benthic organisms. Support for biologic oceanography in Canada from foreign sources has been obtained for some university studies. This support usually comes from the United States and the agencies involved include the Office of Naval Research and the National Science Foundation (through subcontract). Other types of support for biological oceanography may result from highly mission-oriented research. This would include such organizations as the Cape Breton Development Corporation (DEVCO) which has a program to develop aquaculture in Cape Breton. Also, it is apparent that a number of provincial government agencies are showing new interest in nearshore marine developments such as aquaculture. Direct support for biological

oceanography by provincial governments occurs through university salaries for teachers in the field of biological oceanography. Other federal agencies providing indirect support for biological oceanography include the Departments of Defense and Transport which make oceanographic research vessels available for certain types of research.

Apart from the agencies involved in funding biological oceanography in Canada, there are a number of organizations that operate more for the purpose of enhancing cooperation among scientists. These agencies do not have any awards program but their work can often be very effective. In particular, the CCO has been responsible for coordinating programs and making ships available to oceanographers. The Canadian Oceanographic Data Center has made some efforts to handle biological data while the COIC has served a very useful function in coordinating and assisting in the identification of marine organisms in Canadian waters. The Canadian National Committee for the Scientific Committee on Oceanic Research (SCOR) has been formed recently with the purpose of responding to the scientific needs of the national and international oceanographic community.

There is no oceanographic society in Canada but most biological oceanographers are members of the American Society of Limnology and Oceanography which has held several of its annual meetings in Canada. The Society plays an important role as a regular forum in which scientists can express their scientific findings on oceanographic subjects.

International oceanographic organizations are divided into two types. These are the intergovernmental organizations (IGO) and the nongovernmental organizations (NGO). In the former categories there are a number of fisheries agencies that have a direct interest in the biology of the oceans. These include the International Council for the Northwest Atlantic Fisheries (ICNAF) and the ICES. Traditionally, the latter organization has maintained leadership through its extensive programs in physical and biological oceanography as well as other programs associated with fisheries management. Recently, ICNAF has formed an environmental working group that will be of particular interest to biological oceanographers. Similar organizations in the Pacific Ocean, such as the International North Pacific Fisheries Commission (INPFC) and the International Pacific Halibut Commission (IPHC) have shown a disappointing lack of interest in biological oceanographic information.

The largest IGO directly concerned with international oceanography is the Intergovernmental Oceanographic Commission (IOC) which has been responsible for organizing a number of international oceanographic expeditions and scientific working groups. This organization is sponsored by the United Nations Educational, Scientific, and Cultural Organization (UNESCO); other United Nations organizations having programs in biological oceanography include the Food and Agriculture Organization (FAO) and the International Atomic Energy Agency (IAEA). More recently some support for biological oceanography has been given by NATO.

International nongovernmental organizations are largely sponsored by the International Council of Scientific Unions (ICSU); two organizations of interest to biological oceanographers are the International Association for Biological Oceanography (IABO) and the Scientific Committee on Oceanic Research (SCOR). The former organization was formed quite recently after the success of a similar organization for physical oceanographers. As a new organization IABO has yet to demonstrate its individual usefulness to the scientific community and representation in this association has currently been confined to the east coast of Canada. At present, most efforts in biological oceanography with respect to working groups and expeditions have been arranged through SCOR but here, too, the international efforts in biology are really quite small compared with national programs of even some of the smaller nations. However, another function of SCOR is to serve as an advisory body to IOC; in this work it is assisted by the Advisory Committee on Marine Resources Research (ACMRR) that was founded by FAO. As advisory bodies these two organizations have the opportunity to express the views of scientists directly to governments engaged in oceanographic research.

Other international agencies of interest to biological oceanographers are sometimes formed on an ad hoc basis; these would include the International Biological Program (IBP) Marine Committee and its successor, Man and the Biosphere (MAB). Regional organizations in marine science may also be designed for specific purposes; one of these is the Sea Use Council that coordinates programs of Cobb Sea Mountain off the Pacific Coast of British Columbia; another is the Pacific Science Association, which maintains a standing committee on marine science.

4. The Interaction of Biological Oceanography and Other Marine Sciences

4.1 Marine Ecosystems

Many factors control marine ecosystems. Among them are physical factors, such as water

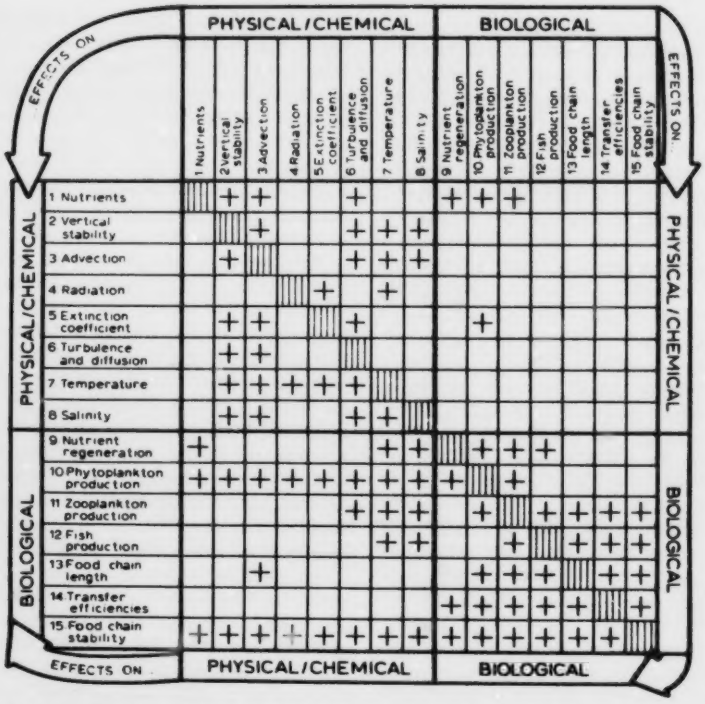


FIG. 3. The interaction of biological and physical–chemical factors in the control of aquatic ecosystems (+ represents an interaction) – from Parsons and de L. Boom 1974.

movement and light, chemical factors, such as nutrients, and biological factors due to the interaction of components that make up the ecosystem. For benthic communities there are similar factors including also geological processes such as sedimentation. On top of all these natural factors, there are also the effects of man that are generally apparent either through fishing or pollution. The problem for the marine ecologist is to make some order out of ecosystems so that their behavior can be understood and management policies formulated on the basis of reasonable predictions.

An attempt to indicate some of the interactions between various parameters in the pelagic environment of the sea is given in Fig. 3. In this figure an incomplete list of some 15 biological, physical, and chemical parameters have been identified and their interactions with each other are is indicated by a (+) if there is a relationship, or a blank if there is no relationship. The way the table works can be followed by the arrows. Thus, vertical stability (2) affects the availability of nutrients (1), but nutrients (1) do not affect vertical stability (2). The interaction of a component on itself is blanked out because such feed-back limitations are generally mediated by a second component (e.g. phytoplankton production (10) may itself limit phytoplankton production (10) by producing more phytoplankton cells but this is caused by decreasing the extinction coefficient (5)).

From this summary figure it is apparent that the components governing aquatic ecosystems can be broadly divided into physical/chemical effects (abiotic) and biological effects (biotic). Further, from this grouping it is possible to show that the physics and chemistry of the sea can have a marked effect on biological parameters but that there are few biological effects on the physical/chemical environment (other than nutrients (1), including organic materials, and the extinction coefficients (5)). Thus, the physical oceanographer seldom has to delve into the biology of oceans. In contrast, the biological oceanographer is heavily dependent on having a knowledge of the physical/chemical environments.

Among the list of parameters shown in Fig. 3 are several readily definable terms such as temperature (7) and salinity (8), as well as more nebulous terms such as transfer efficiencies (14) and food chain stability (15). The need to include the latter terms is derived from the fact that biological systems exhibit properties of the system that are not characteristic of the individual parts. Thus, transfer efficiencies refer to the interaction between two trophic levels while stability is a complex property reflecting the ability of an ecosystem to resist change. A fuller discussion of these terms is given by Parsons and de Lange Boom (1974).

4.2 Biological Oceanography and Physical Oceanography

The application of physical oceanography to biological oceanographic problems is best considered in terms of a specific problem rather than as a generality. One basic reason for this is that the scale of events to which the physics must apply can only be defined in terms of the particular biological event under study. From Fig. 3 it is apparent that such general phenomena as advection, turbulence and vertical stability can all effect biological events; however, the scale of these parameters in estuarine ecology, for example, is very different from that in the open ocean where in some areas biological productivity reaches a steady state condition for considerable periods of time.

Having defined a need on the part of the biologists for certain specific physical explanations, it is then appropriate to ask how good is the physics (data plus theory) for the solution of the biological problem under study? Here it is possible for the biologist to obtain such data as seasonal estimates of the mixed layer depth in the ocean and to use these in predicting seasonal changes in production. However, in other cases involving the rates of vertical diffusivity and upwelling, or in general estimates of hydrodynamic velocity fields, the biologist is demanding from the physical oceanographer information that the physicist himself is having difficulty in obtaining. Further, although biological studies are only of marginal interest to physical oceanographers as indicated by the arrangement of data in Fig. 3, it is sometimes true that biologists can help to correct, or lead the way, to physical solutions. While the use of plankton indicator species is probably only a historical example of this, other considerations, such as oxygen distributions in relation to biological events can be used to put some realism into calculations of vertical diffusivity; thus, a good description of an ecosystem can have some feedback in the verification of physical processes.

One important property involved in formulating trophic relationships between organisms is the degree of spatial inhomogeneity or patchiness of plankton distributions. It becomes very important for the biologists to know how large are the patches of plankton in any environment and further, for how long these patches are maintained by the physical environment of the sea. Some preliminary discussions of these problems are contained in Platt (1972) and Steele (1974a).

The use of sound for determining the biomass of organisms in the sea is another problem requiring further examination by physicists. Light is an important property in the ocean and yet the attenuation of light as a function of photosynthetically active radiation has received comparatively little study. Sedimentation of particulate material and properties of the air–water and mud–water interfaces are problems in biophysics and physical chemistry that require descriptions for work on the biology of neuston, plankton and benthic communities.

At an organizational level it is important to recognize that physical and biological oceanographers cannot proceed with their work in isolation from each other. While each must have time to develop his own speciality, there must also be times for cooperative exercises. Such cooperation on a large scale has recently been managed through the IDOE program for Coastal Upwelling Ecosystems Analysis (CUEA). This program appears as an almost unique example of a large-scale attempt to integrate the spatial and temporal scales of physical processes with ecosystem function, to a level where it may be possible to develop a total ecosystem model.

4.3 Biological Oceanography and Chemical Oceanography

The chemical composition of plankton and nekton is reasonably well known from the standpoint of its proximate analysis and nutritional value. There has also been considerable physiological and biochemical work on marine organisms that has shown the major metabolic pathways by which they function. Further work is needed on the enzyme chemistry of the surface layers of marine organisms, particularly with respect to the transport of metabolites in and out of phytoplankton cells. Also, in larger organisms more knowledge is required on their susceptibility to traces of pollutants through transport mechanisms across gill membranes and through ingestion.

Chemical transfer of substances in the food web of the sea and the alteration of compounds by various metabolic processes can assist the

biologist in identifying pathways of energy flow (e.g. Ackman et al. 1973); similar studies conducted through field observations and stomach analyses can be tedious. Further, the possible biological action of certain compounds manufactured at one trophic level, on animals at another trophic level may have important implications in the possible natural and artificial control of biological processes of the sea. This is suggested by some preliminary work on natural hydrocarbons in phytoplankton which may determine the sex ratio in crustacean zooplankton (Youngblood et al. 1971).

Use of chemical techniques for determining the presence of small amounts of living material in the ocean (e.g. Holm-Hansen and Booth 1966) together with chemical analyses which will reveal the instantaneous growth rate of a living organism (e.g. Sutcliffe 1970) are both important approaches to the analytical parameterization of biological oceanographic processes. In addition, better techniques need to be developed in order to identify and quantify the microconstituents of the soluble and particulate organic materials in the sea. Some progress has been made on determining the origin of these materials using the ratio of the stable isotopes $^{13}C/C^{12}$ (e.g. Williams and Gordon 1970) but more biological analysis of their origin is required in order to understand their importance in marine food webs.

In summary, the role of chemical oceanography in biological oceanography is basic to our understanding of many of the phenomena of the sea. This includes obtaining more chemical information as an aid to understanding the physiological and biochemical actions and reactions of individual organisms as well as in obtaining a better description of community structure (food web transfers) and community habitats, both benthic and pelagic.

4.4 Interactions Among Biological Oceanographers

In attempting to understand the biology of the oceans the biological oceanographer is faced with problems that are much more complex than those in the world of chemistry and physics. Not only must he rely on the correctness of physical and chemical data and interpretations but he must also understand the biological reactions of organisms to their physical–chemical environment.

Terrestrial ecologists have benefited from the greater availability of their subject matter for study; consequently, major literary works on terrestrial ecology have appeared and certain theories have been advanced. The ecology of the oceans suffers both from the difficulty of studying an inhospitable underwater habitat as well as in part from the theories of the terrestrial ecologists on the way all nature ought to be.

There are obvious difficulties in having to pursue a scientific career from continually moving platforms while attempting to examine life to a depth of several miles, much of which can be seldom seen. Added to this, however, are preconceived notions about planet Earth, which should have been more properly called planet Water in respect to the vastness of the oceans. Thus, the primary struggle of plants and animals in a terrestrial environment is one in which they have to survive against the strain of gravity; in contrast, pelagic organisms grow up in the amniotic cradle of the sea. Terrestrial organisms are characterized by the heavy use of structural material such as bone and wood; further energy is needed for terrestrial organisms to move. In contrast, the organisms of the sea expend very little energy on structural materials — bones are small and cellulose is a minor constituent of marine plants. In the matter of movement, it has been calculated that the action of swimming requires approximately an order of magnitude less energy than terrestrial movement (Gold 1973). Further, the biological habitats of the terrestrial environment are many and varied and the number of species of organisms is far greater than is found in the sea.

In terrestrial environments the sun's energy is readily available; in the sea it is only a fraction of a percent of the water column that receives the light on which all ocean life depends. In contrast, however, nutrients in the form of nitrates and phosphates are generally much more available to marine plants than on land. The struggle for life in the sea is one of either being small and very numerous or growing fast enough to become large and safe from attacks by predators.

From these introductory remarks it is apparent that aquatic ecologists must formulate their own theories based on a substantially different world from that of the terrestrial ecologist. The oceanographer's work may be assisted by being able to arrive at certain analogous situations between lakes and oceans. However, even a casual observer on a seashore must recognize the richness of marine organisms compared with the relative nakedness of limnological shores. Other ecological departures are generated by the diversity of organisms with depth and the essentially bottomless ecology of most of the pelagic environment of the oceans compared with the close proximity of the bottom to the surface in most lakes.

As pointed out in the second section of this report, biological oceanographers have evolved through a period of systematics and nutrient

analysis to a more recent period in which they have questioned some of the interrelations between nutrients, plants, and animals. In doing this the rather structurally rigid disciplines contained within the description of biological oceanography have begun to break down. For example, persons who were once considered specialists in primary productivity are now finding themselves far out on a limb of the evolutionary tree of science. The most impressive advancement in our current knowledge of biological oceanography has come through interdisciplinary cooperation among different specialists, or within the knowledge of a single person who has managed to bridge certain gaps between scientific disciplines.

Specific areas of research that require interaction between biological oceanographers are described in part by Fig. 3. Thus, the feeding and growth of different plants and animals the ecological efficiency between different trophic levels and the number of intermediary steps and feedback mechanisms within the food web of the sea, all require much further study. In addition, however, it is known that the properties of an ecosystem often differ from those of the assembled plants and animals. In this respect, we can observe, for example, differences in terminal productivity between two ecosystems where there may be little difference in their primary productivity. More important in terms of research needs, however, is an ability to understand how ecosystems maintain themselves against major perturbations, both natural, such as climate, and unnatural, such as the effects of pollution and overfishing. A new approach to this problem is the use of spectral analysis in ecology (Platt and Denman 1975). As the name implies, this approach depends on analyzing the frequencies of dominant cycles of a system and in determining their causes. An understanding of these community oscillations in relation to ecosystem stability may yield some of the answers to long-term changes in the biota of the seas and man's effect on the renewable resources of the oceans.

4.5 Biological Oceanography and Fisheries

4.5.1 The management of fisheries — At the beginning of this discussion, biological oceanography was defined as a study of the biology of the oceans including benthic and pelagic communities. A dictionary definition of "fisheries" in the sense of this report (Webster 1966) is given as "the business of catching, packing or selling fish or other products of lakes, rivers, or the sea." From this definition it is at once apparent that fisheries science must include many economic and technical aspects of catching and marketing fish which would not have any relation to biological oceanography. However in the business of 'catching fish,' a number of well documented theories have been developed some of which include biological parameters.

The most widely used theory for the management of fisheries is the Beverton and Holt (1957) model (see also Baranov 1918 and Ricker 1940). This describes the average steady state catch in terms of the biomass of the fishable population as a function of the coefficients of recruitment, growth, and natural mortality. The latter coefficients are assumed constant and not qualified by environmental (abiotic) or trophodynamic (biotic) considerations. A second even simpler model described by Schaefer (1954) disregards the separate coefficients of recruitment, growth and natural mortality and regards population increase towards a maximum size as depending only on the existing population size at any time.

There has been much elaboration and discussion of these two management theories. It is true to say that their application has been useful up to the point of single species management strategies in underexploited stocks but that their future use as predictive models is limited by the following considerations:

1. The models consider only the fish and not their environment. The latter on the average is regarded to be in a steady state which implies that both biotic and abiotic factors do not fluctuate sufficiently over a long period of time to effect the fish; the number of fish themselves together with the number of fishermen are therefore regarded as the paramount factors in controlling yield.

2. The models deal with only one species, individually, and no allowance is made for the effect of removing one species on another (fishable) species.

3. Those coefficients that are employed (including later embellishments, such as a term for fecundity) are assumed to be constants and therefore not subject to environmental stress.

Even with the considerations listed above it would be unfair to say that the population model approaches of Beverton/Holt and Schaefer have not served a useful purpose and may with further refinements continue to be a tool in fisheries management for many years to come. Indeed, given relatively short-term predictive needs (e.g. 1 yr) there is no reason why such models should not serve fisheries managers well. However, apart from the limitations given in 1 to 3 above it is apparent that the whole business of fisheries has changed greatly in the last two decades so that from political and economic considerations, fisheries managers must now have at their disposal

better predictive capability in terms of:

1. A longer range forecast of *stock*, and *recruitment* to a particular fishery.

2. An assessment of the *total biological yield* of particular environments in terms of the exploitable fish resources as opposed to the sustainable yield of any one particular species.

The first of these requirements is brought about by the economic need to plan better fisheries operations with regard to ship deployment, factory development, and marketing. The gradual failure of a fishery due to climatic effects or the emergence of new fish stocks needs to be predicted on the basis of understanding the biology of the sea. The second requirement is dictated more by political needs where there is competition between different kinds of fisheries in the same area. For example, preservation of a traditional fishery may have to be foregone if it is biologically more productive to harvest another part of the protein spectrum in the sea (i.e. the harvesting of lower trophic levels, such as capelin, may yield more protein but at the same time decrease the yield of cod).

It is possible that scientific solutions to the two problems of *stock and recruitment*, and *total yield* can be found through the efforts of biological oceanographers.

Fisheries scientists have for some time assumed that recruitment of new fish to a fishery was in some way proportional to the existing stock of fish. It was realized from the earliest assessment that if this relationship existed it was not likely to be a simple one and the formulation given to the problem by Ricker (1958) shows a family of curves from a linear, one-to-one relationship, to a dome shaped curve in which recruitment is maximized at a point between small and large stocks. The data on which the assumption of a stock recruitment relationship is based are highly scattered and except where there are some known determinate relationships between stocks and recruitment (e.g. with salmonids) it can be equally well argued that there is in fact no valid relationship between stock and recruitment. This assumption was apparent to Hjort (1914), when he pointed out that a single large year class of herring could decide the abundance (stock) of herring for many years. Hjort's observation can be repeated many times in the fisheries statistics of different fisheries where sudden increases in abundance are not related to the earlier stocks of the same species.

The body of evidence now accumulated indicates in fact that it is the period of larval survival that is most critical in determining the recruitment of fish to form new stock (Gulland 1965; Cushing 1972). The evidence for this conclusion emerges as much from field studies as laboratory experiments on rearing larvae (e.g. Shelbourne 1957; Bannister et al. 1973; Lasker 1974). It is these and other observations that have lead to the thesis that the most important processes governing the numbers of marine fish is the result of a single relationship viz, "the match or mismatch of the production of larvae and that of their food" (Cushing 1972). While the relationship can be stated simply in such terms, the processes that govern the arrival of food items and fish larvae at the same time and in the same place are highly complex. In terms of biological oceanography, however, they present a far more discrete area of study than many of the more complex questions of food web relationships.

Abiotic factors that are likely to influence the matching of fish larvae with their food supply are wind speed, temperature, and ocean currents; biotic factors include the time of spawning, egg development, the occurrence of plankton blooms, and the degree of plankton patchiness. All these parameters can be measured — the question of whether in fact they are measured is really related more to the cost of such measurements relative to the importance of predicting the numbers of fish. In this respect, however, it may be possible to launch an intensive research program to understand larval survival and then to base a monitoring program on several indices of the environment that can be easily and cheaply measured. The use of indices in predicting fisheries has in fact already been attempted (e.g. Bell and Pruter 1958; Sutcliffe 1972). However, in both these example references it is recognized that indices of fish production in the absence of explanations of the processes involved, can be very misleading. Thus, the suggestion being made here is for biological oceanographers to obtain an understanding of mechanisms governing fish numbers and then to apply this understanding to an index (or indices) monitoring program.

The second important factor in future fisheries management is to know the *total yield* of fish. The problem here is to understand what fishing strategies to apply (both technical and economic) in order to obtain the maximum yield of protein or to preserve the most valuable ($ value) fisheries against exploitation by other fisheries seeking to maximize the yield of protein. This problem is therefore a multispecies trophodynamic problem of food web management including an understanding of biotic and abiotic parameters.

Modelling approaches to fisheries management that consider the *total yield* of fish have been attempted by a number of authors. In the simplest approach, the primary production of phytoplankton is related to the total availability of harves-

table fish resources through a number of steps in the food chain and a consideration of the efficiency with which energy is transferred through each of these steps. This approach is typified in papers by Schaefer (1965), Ryther (1969) and Ricker (1969). Schaefer's and Ryther's models suffer from assumptions regarding the direct flow of energy through whole trophic levels while in fact the trophic position of many marine animals may vary with time; in addition, feedback mechanisms which are not included in these models may play an important role in enhancing the overall efficiency of the system. In Ricker's model these factors are included but a lack of appreciation for new fish resources results in a conservative estimate of global fish production. The food chain model is at its best an overall assessment of hydrospheric fisheries potentials but is of little value as a management tool in its present form. However, the models do require a considerable input of biological oceanographic information.

A third type of fisheries model is characterized by the work of Paloheimo and Dickie (1970), Kerr and Martin (1970), and the recent summation of Steele's work (Steele 1974b). In this approach it is the food web of the sea which is considered along with the various pathways of energy flow and biological strategies of different organisms in the marine environment. While the approach appears full of promise, the models suffer from requiring large amounts of data including both field and laboratory observations. Their use in the management of fisheries is still some time in the future and their ultimate utility may rest more in establishing scenarios of possible alternative events rather than in predicting the absolute course of nature. These models depend heavily on understanding of the biology of the oceans and a concise illustration (Fig. 4) from Steele (1974b) serves to show the importance of food web studies as opposed to the simpler studies of food chain efficiency. In this illustration the flow of energy has been divided into two from the level of secondary production and returned at the level of primary carnivores, to the main energy flow. In doing this the energy has in fact passed through one more trophic exchange without achieving a new trophic level where it might become a harvestable resource. This could happen if one group of zooplankton fed as herbivores but a second group of zooplankton fed as omivores and consumed both the phytoplankton and the herbivorous zooplankton.

Finally it is possible to include a fourth type of fisheries model which is typified by the work of Margalef (1968) and Regier and Henderson (1973). In this model it is assumed that marine ecosystems have certain properties of the whole

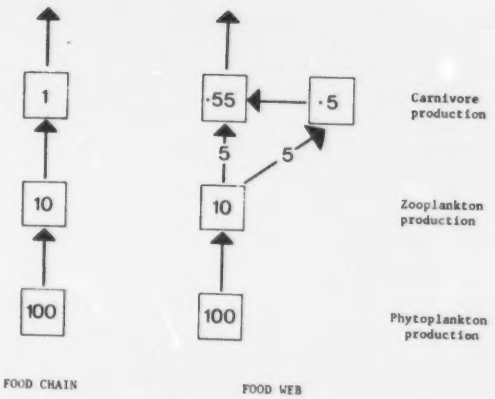


FIG. 4. A simple example of a decreased energy output caused by branching in a food chain, assuming 10% efficiency in transfer through each production level (from Steele 1974b).

system (as opposed to the system's components) and that it is the properties of the system that are important to understand in management strategies. Thus the "well being" of an ecosystem is considered in terms of such indices as diversity, stability, and resilience. The end purpose of these models is to measure the effects of stress (natural and unnatural) on a fishery. These models are at present in their infancy and their usefulness is totally unproven; nevertheless an open door policy should be adopted towards such research which may eventually grow into effective subcomponents of management (see also comments regarding models in the Introduction to this report).

In conclusion to this section it can be stated that biological oceanography has a new and important role to play in fisheries management both in the prediction of numbers of fish of a particular species and in the total yield of our marine biological resources. In the latter context Fig. 5 summarizes the current and potential use of fisheries models for management.

4.5.2 Potential fisheries — In the previous section the role of biological oceanography was discussed with respect to existing fisheries. From a number of reports, however, it is apparent that the existing face of fisheries may be changing rather rapidly from the harvesting of conventional fish products to new resources. The development of these new resources is likely to include an expansion of existing fisheries to include new products such as the blue whiting of the North Atlantic, the harvesting of small fishes such as capelin, saury, and sand eel, new methods for the collection of

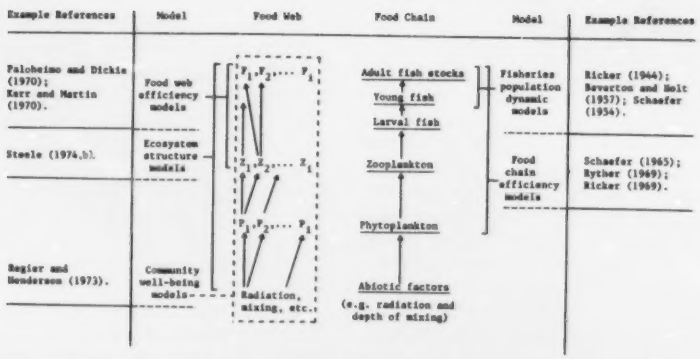


FIG. 5. Identification of trophic relationships which are used in developing models of fisheries (modified from Dickie 1973).

squid and zooplankton (particularly Antarctic krill) and finally an increase in mollusc fisheries. Some evidence for this suggestion is shown by the Soviet and Japanese Antarctic krill expeditions, the landings of squid in Japan which now amount to 15% of that country's total catch, an annual collection of approximately 200,000 tons of sand eel from the Northeast Atlantic and 250,000 tons of capelin from the Northwest Atlantic. Added to these present day statistics are such potential fisheries as the myctophids throughout the hydrosphere, barracudinas in the North Atlantic, sergestid shrimps in the North Pacific, slender tuna (*Allothunnus fallai*), southern saury, and hake in the southern ocean. Moving even further into fisheries of the future it is reasonable to re-evaluate the potential zooplankton harvest of the oceans (Parsons 1972). In this respect it appears that the density of copepods in the shallow scattering layers of the North Pacific may eventually become a harvestable resource (Barraclough et al. 1969).

Based on an extensive review of marine protein resources, Gulland (1970) has suggested figures for the potential yield of these newer marine fisheries. His estimates, in millions of tons per year, are: zooplankton (e.g. euphausiids, galatheids, etc.) >50, small fishes (e.g. lantern fish, saury, sand lance) >100, squid 10–100 and new benthic mollusc fisheries 10–25. Taking some average figures from these estimates and adding to them the 100 million tons predicted for conventional fisheries, one arrives at an oceanic protein harvest of over 300 million tons of which 70% is largely from unexplored stocks (Fig. 6). This is five times the current world fishery and may be a conservative estimate.

The important point for the biological oceanographer is not so much the size of the total harvest,

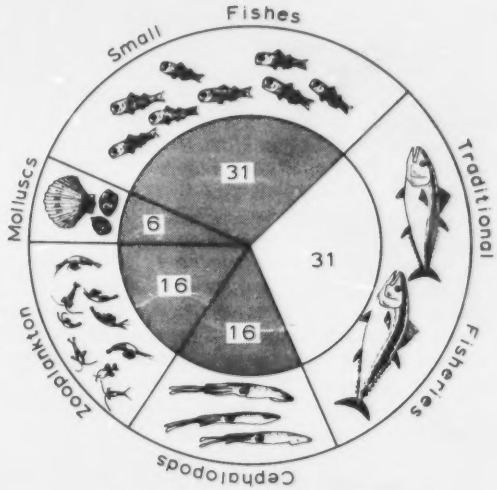


FIG. 6. Proportional distribution of potential world fisheries (shaded area indicates the region where there is a considerable lack of biological oceanographic knowledge suitable for application to a new fishery).

but the proportion of the harvest that may come from new fisheries. Our present knowledge of squid, zooplankton, and small fish ecology in the oceans does not permit us to make any predictions about the utilization of these organisms, nor can we help much in the catching of these resources. Their oceanographic climate, schooling, and migratory behavior are all poorly known. Further, a large part of these 'fish' stocks are in high sea areas off the continental shelves; consequently we cannot rely on the experience of our traditional fishermen to recognize fishable areas. Much help

will be needed from the biological oceanographer in explaining the oceanic climate, the life cycles and the cause of long term variation in these stocks.

4.5.3 Aquaculture — Scientific examination of marine aquaculture is so new that there are no experts in the field other than a few persons who have almost single-handedly proved their ability to raise commercial quantities of marine plants and animals under controlled conditions. In this experimental approach to marine aquaculture there are generally three types of impoundments used to contain animals. There are 'feed-lot' cultures, using either cages or pens in which animals are fed a prepared food while living in natural waters; 'grazing cultures,' in which animals (e.g. molluscs) feed off the natural richness of the phytoplankton in the water, and 'closed culture systems' in which water is recirculated and usually temperature controlled (Joyner 1971). In all these systems there is a general requirement for water quality control. Because the quality control is usually of chemical and biological parameters (e.g. oxygen, plankton, pH, etc.) it is very much within the realm of biological oceanographers to become involved in these studies. In the case of 'grazing cultures' it is further important that biological oceanographers assist both in the assessment of food organisms (phytoplankton) and in the dispersion and survival of larvae. Also the periodic occurrence of red tide organisms presents a continual threat to natural and cultured populations of marine organisms in coastal environments. More biological oceanographic research is needed on the occurrence of these organisms.

Sites which are selected for aquaculture projects should be thoroughly investigated as to their biological properties prior to the initiation of a project. In this respect it is obvious that in many coastal regions there are large natural populations of harvestable resources (e.g. scallops, oysters, seaweeds) while in contiguous environments there may be a total absence of the same species. The exact definition of what makes a good biological environment for near shore species of animals would greatly assist in the planning of aquaculture projects. Essentially these definitions of environments are in part descriptions of communities, such as have been made by benthic ecologists, but never extensively elaborated on in terms of causal relationships. Without a thorough knowledge of these causal relationships it would appear that the practice of exerting control over nature through aquaculture is going to be difficult to sell as a science.

Finally, in the recycling of wastes (Section 5.4) it has been suggested that heat, sewage and pulp mill effluent could all form the basis of aquaculture projects useful to man. Some preliminary work has been done in these areas (e.g. Ryther et al. 1972) but much more research funding is required.

4.6 Biological Oceanography in Relation to Marine Pollution

The problem of marine pollution has only recently received widespread attention. Consequently, there is little historical data on which to evaluate cause and effect relationships or even to determine the extent to which pollutants may have accumulated in the hydrosphere due to man's activities. In fact, from some of the earliest assessments, the word "pollutant" itself has come under a shadow of doubt when it was found that high concentrations of mercury in large oceanic fishes was probably a natural phenomenon, unrelated to the industrial use of mercury. Further, as Dickie (1973b) has pointed out, any general definition of a pollutant as an agent causing stress on the natural environment is in itself difficult to identify from among natural stresses such as climate, volcanic emissions and natural seeps of hydrocarbons. In the literature on pollutants, elements or compounds generally considered are: (1) the heavy metals (whatever their source), and (2) organic compounds, including both those manufactured by man, and natural materials, such as sewage and the mineral hydrocarbons.

The approach to the scientific study of pollutants in the hydrosphere has followed three general directions. The first has been a largely chemically oriented survey of how much of any substance is found in any sample; samples analyzed have included water, sediment, fauna, and flora. The only role for the biological oceanographer in this "stock taking" program is in his ability to identify some of the organisms analyzed, particularly with respect to the plankton community.

The second approach to marine pollution research has been to study the transfer of pollutants. This is a complex physical–chemical and biological problem. It can involve transport of pollutants by the atmosphere or ocean currents, transfer in a physical–chemical sense such as between mud–water interfaces or by chemical alteration of a substance from an inorganic to organic phase (e.g. mercury to methylmercury), and transfer in a biological sense, such as by plants and animals in the marine food chain. The last of these transfers is an area of interest to the biological oceanographer and one which has led to recent controversy.

The controversial point regarding biological

transfers is whether this is largely a function of the trophic position and age of an organism or whether it is a property of individual organisms in terms of their respiratory surfaces, fat content, excretion pathways, etc. At present, the evidence suggests that among some creatures at the top of the food chain (e.g. among marine birds and mammals) the concentration of a pollutant in an animal is a result of an accumulation by the food chain, providing this is a "structured" food chain. On the other hand, in "unstructured" food chains, and in individual cases of plants and animals having certain properties which tend to accumulate pollutants, the concentration is then a function of the individual organism. The difference between "structured" and "unstructured" food chains is shown in Fig. 7 for a pelican, which derives its food from a single source, and a seagull, which is an ubiquitous feeder. In the former case, an accumulation of a pollutant at the bottom of the food chain will result in its transfer up the food chain in increasing concentrations if the rate of excretion of the pollutant is less than its rate of ingestion. In this food chain, the widespread distribution of a pollutant could result in the extinction of an entire population of the species because all animals derive their food from the same source. In the unstructured food chain, an animal feeds off a wide variety of foods, and while it could be poisoned (acute pollution) by one of these food sources, this would not affect the whole population of the species, but only those animals which might have fed off one particular food source.

For the biological oceanographer, the detection of different kinds of food chains in the marine environment is a primary mission in pollution research. On the other hand, mechanisms of pollutant concentration by individual organisms as described above, is a problem for physiologists and biochemists and should not directly concern the biological oceanographer.

The third approach to marine pollution research is to determine the effects of the pollutant on the marine biota. This "effects" program has suffered to some extent by overindulgence in one

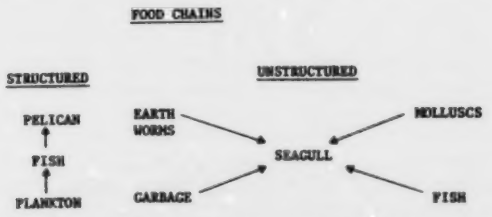


FIG. 7. Structured and unstructured marine food chain.

avenue of research, namely, the acute toxicity study resulting in the LD_{50} response. In this program it has generally been sufficient to establish how much of a pollutant is necessary to kill 50% of the population (i.e. lethal dose for 50% of the population = LD_{50}) over a short time period (e.g. 48 h). When the concentration that will cause this mortality is found, a "safe" concentration is generally suggested at two orders of magnitude less than the LD_{50} concentration. Because this is a definite number which has some scientific basis, the legal minds have tended to adopt these values in setting up standards for food consumption. While this approach has served to satisfy a bureaucratic approach to pollution it may not reflect nature's response to the same problem. In fact, it can be shown that at concentrations of pollutants well below the LD_{50} response of large animals, changes occur in components of the food web which could have severe ecological consequences. For example, in a recent examination of this problem under the IDOE program, CEPEX, it was shown that between five and ten parts per billion of copper in seawater could alter the whole spectrum of primary producers from a diatom to a microflagellate community. The significance of this event is apparent by analogy with a terrestrial environment if one were to consider the effects of changing a wheat field into a hay field with all the consequences of the changed animal ecology. The examination of the chronic low-level effects of pollutants, such as heavy metals and hydrocarbons, on the total ecology of the sea, is very much the role of the biological oceanographer.

In considering problems of pollution of the sea, the biological oceanographer should be guided both by the scientific nature of the problem as discussed above as well as by who requires the information. Agencies requiring assistance in matters of marine pollution include engineering companies (e.g. sewage disposal), public health (e.g. safety of swimming beaches), fisheries management and harbor boards. The problems associated with these agencies can be defined as requiring maximum input from different marine scientists, and this may not necessarily include biological oceanographers. For example, the distribution of effluent from an industrial outfall at sea is largely a physical oceanographic problem; public health officials are concerned with toxicology and the methodology of testing for the presence of toxins; fisheries management is concerned with the ecology of commercially important species, while harbor boards may require an environmental impact study associated with port development. Thus, in this particular analysis of four agency problems, the biological oceanographer might

have a principal role to play only in the fisheries ecology problem and the environmental impact study.

4.7 Instrumentation, Techniques, and Facilities

In this section it is assumed that justification for new programs and science can be found at other points in this text, but that a separate assessment of the hardware required for such programs needs elaboration in terms of instrument development and logistic support programs. In this respect it is apparent that much effort has gone into the collection of biological oceanographic data only to find that they have not been collected with sufficient accuracy and precision to be of any use except in terms of relative change. This is particularly true of much of the data on plankton collections. Samplers have been used which inadequately sampled the plankton community and often gave no indication of small-scale patchiness or replicability of sampling technique. Thus, the first requirement is one of exerting tighter controls over the collection of all forms of biological data together with the greater use of biological standards and intercalibration procedures.

To solve the problem of spatial patchiness of plankton distributions it is further necessary to encourage the development of in situ samplers that can be operated and monitored continually while vessels are underway. In this respect there have been recent encouraging developments in the field of towed plankton counters (Longhurst et al. 1966; Boyd and Johnson 1969). Also, it appears possible to develop ion-specific electrodes for in situ nutrient analysis using specific enzyme reactions in order to achieve sufficient sensitivity for seawater analysis. Underway depth profiling for temperature structures (XBTs) have become routine and a similar instrument has now been described for the measurement of light attenuation (Striffler 1974). While a great deal of data have been collected with the Hardy recorder (Glover 1970), it now appears that this apparatus is undergoing changes in design to keep up with the faster speed of ocean vessels and the need for simultaneous collection of additional biological variables. Ideally, many of the in situ continuous recorders should be operated from commercial vessels; this in itself brings about logistic problems of picking up and dropping off apparatus and data as well as the problem of training ship crews to operate the apparatus.

For the detection of larger organisms there is a need for the development of several kinds of acoustical arrays. These should include a range of high frequency sonars, sound holography, and sector scanning. The first of these is already available commercially and can be used to detect organisms in shallow and deep scattering layers (Bary 1967; Barracough et al. 1969). Sound holography is still in the experimental stage but may eventually allow actual recognition of fish species over large areas. Sector scanning is a technique already being used experimentally for studies on fish behavior and migration. In addition to sound equipment, new ideas are needed in large net design, particularly with respect to catching animals in the deep scattering layer including krill and squid.

Aerial surveys using both airplanes and satellites may also be of some use in biological oceanographic monitoring programs. Local phenomena such as coastal upwelling can be observed from aircraft while larger areas can be surveyed from satellites using a color index as a measure of chlorophyll and high biological productivity (e.g. Yentsch 1973).

The attenuation of light in the sea continues to present a basic problem to biological oceanographers. While various types of cheap apparatus are readily available, accurate measurements can only be made by more sophisticated 4 π-quantum meters that are only now being designed for use in photosynthetic measurements. The problem of species identification of plankton and counting has been greatly helped by the setting up of sorting centers (e.g. COIC) and possible new developments in this field include computer identification based on either pattern recognition or some specific chemical properties (e.g. hydrocarbons). Automated processing of biological oceanographic data is not nearly as far advanced as the processing of physical and chemical data; the difficulty of organizing biologists to use similar pieces of equipment may be solved through improved design of in situ sampling equipment and this will eventually assist in data processing.

Specific properties of the biological community are sometimes difficult to measure in situ. An example of this is the sinking rate of plankton that can be measured experimentally but needs to be verified under field conditions in the presence of turbulent effects. Size spectra of planktonic organisms appears to be a useful parameter in production models but it will require considerable improvement in field equipment (e.g. laser holography) to measure this property in situ. Further, an inherent problem in all in situ apparatus is the tendency to foul and malfunction with time. Thus, specific research is needed in instrument development which will allow optical instruments, probes, and counters to remain uncontaminated by the growth of marine organisms.

Special areas of interest to the biological

oceanographer that have not received much attention at present include the air–water and the mud–water interface. In the latter case, the dependence of large stocks of fish on the ocean bottom warrant much greater efforts being expended on studying the biology of this habitat. One of the most primitive forms of biological oceanography at present being practiced is the sediment grab used to study the biology of benthic communities. This apparatus totally destroys the natural habitat and many of the animals before they can be examined. Some solution to this problem may be found in the underwater habitat (e.g. Kinne 1970). At present, however, it appears that the underwater habitat has emerged more as an experimental vehicle without a mission than as a serious research vehicle. It is probable that most existing designs of these vessels have been made too small and are generally too immobile to serve the purpose of large-scale benthic research, although they have served the purpose of pioneering vessel design. A vehicle is required to the proportions of a submarine, specifically designed for scientists to probe the mud–water interface of the continental shelf.

In near shore oceanographic research it is necessary to have some areas designated a priori for research purposes. Too often the needs of real estate and port development have dictated the use of the near shore environment. In research it is impossible to compete with the financial backing of business in order to establish a marine preserve. In particular, areas are needed in which experiments can be conducted in aquaculture, recycling of sewage wastes and benthic communities. Such areas will probably have to be defined by legislation rather than through purchase on the open market.

Finally, there is a need to increase the number of textbooks available to students and persons working in marine environments (e.g. engineers). The texts should include works on the identification of marine organisms, handbooks for the analysis of marine materials, natural history guides and some theoretical treatments of biological oceanography.

5. Projected Canadian Need for Biological Oceanographic Development

5.1 National Programs and Institutions

Background information accumulated by oceanographers on the biology of our Canadian maritime waters has given us a general understanding of the number of macro-species present, both in the pelagic and benthic communities. Further, there are some survey data that show the general form of production processes in areas of major interest to Canada, such as the Strait of Georgia and the St. Lawrence estuary. However, the areal coverage of these surveys tends to be patchy and much more work is required, especially with respect to benthic surveys.

There is practically no survey work that can be used to show temporal changes in the biology of the marine environment. For example, the first areal surveys for plankton in the Strait of Georgia were conducted in the 1930s by Hutchinson and Lucas (1931). There is then a gap of approximately 30 yr until the late Dr John Strickland started plankton studies at Nanaimo in 1958. Similar studies on the east coast were started in 1965 at the Bedford Institute. In both cases, however, the research programs would have to be described as being exploratory. The chief motivation behind these programs was the belief that there could be no general monitoring program of the biology of our seas until we understood what it was we wanted to measure. Thus, many Canadian publications in biological oceanography are illustrated by such works as the study of a phytoplankton bloom contained in a plastic enclosure (Antia et al. 1963), the ecology of a small bay on the east coast of Nova Scotia (e.g. Platt and Conover 1971) or the study of a single organism (e.g. Sameoto 1972). Such studies have in common a desire to better understand the biology of the sea through somehow limiting the number of variables the researcher has to encounter. These limitations are imposed either by choosing a discrete study zone (e.g. a bay or a plastic bag), isolating an organism or concentrating on the use of a single piece of apparatus with which one becomes thoroughly familiar in the sense of what it is actually telling you about the environment (e.g. Bary 1967). Taken together, these programs have been of fundamental importance in the development of biological oceanography and the Canadian contribution to the science needs no further recognition than to observe the often-invited presence of Canadian biological oceanographers at international meetings throughout the world.

Yet, this self-esteem is quite illusionary if having understood some process we have not attempted to put it into practice to test the truth of our wisdom. It is at this point more than any other that we can identify Canadian biological oceanography as research without a mission. Information generated by biological oceanographers is seldom being utilized in practical problems such as in fisheries management.

The first section of this report identified the historically divergent paths that were taken by the

fisheries expert and other marine biologists. In Section 4.5.1. an attempt was made to give the basic scientific differences between the various approaches to the problem of fisheries management and again to show where there was a role for the biological oceanographer in practical problems of fisheries management. From these assessments it can now be said that the most urgent need is for biological oceanographers to apply themselves to existing and potential fisheries problems, and for the fishery scientist to recognize on his part, the assistance that can be afforded by this new information. This need cannot be fulfilled unless and until there is a breakdown at the managerial level and among fisheries scientists in attitudes which continue to ignore the role of the environment in determining the productivity of fish.

Another major need in biological oceanographic programming is to establish a monitoring program as a service function within the government FMS laboratories. From work recently reported on the Hardy recorder program (Glover 1970; Robinson 1970), it has been shown that major changes in the spectrum of fish food organisms (zooplankton) have occurred during a 30-yr period in the Northeast Atlantic Ocean. In addition, similar changes in water type and productivity have been shown to occur by a monitoring program conducted at the Plymouth, U.K., laboratory over a 40-yr period (Russel et al. 1971; Southward 1974). Were it not for these demonstrations of long-term change in the biological climate of the ocean, it is highly probable that there would have been a lot of irresponsible speculation of what was happening to various fisheries in the northern hemisphere. Further it will be impossible to develop large scale biological models of the marine environment of interest to Canada without a data bank of routinely collected biological observations.

In Canada, the longest time series of biological oceanographic data (not including fisheries catch statistics) are the plankton records at Ocean Weather Station 'P' in the Northeast Pacific. For zooplankton these were started in 1956 (LeBrasseur 1965) and for phytoplankton (chlorophyll *a*) in 1958 (Parsons 1960; Stephens 1970). Both of these records show long-term changes in the biological climate of the sea. The question is, why is it that such studies are not pursued in other parts of Canada's ocean approaches? The financial cost of such studies is very low compared with many research programs because the gathering of data is invariably a part of some other mission (e.g. weather ship operation). In agriculture, meteorology and geology, Canada has developed a service function to monitor certain parameters and conduct certain routine surveys. There appears to be little reason why such long-term surveys should not begin to form part of the research at FMS stations on both coasts since this could be done for a very small fraction of the budget presently assigned to these laboratories. In particular, sensitive areas such as the Strait of Georgia, the St. Lawrence estuary, the Gulf of St. Lawrence and the Grand Banks should all be subject to routine monitoring programs.

A second requirement for routine data which is an identifiable need in Canadian biological oceanography is in respect to the development of large multispecies trophodynamic models. In this case, the data requirements are extensive and costly and their collection is not recommended for a long-term monitoring program, as described above. The purpose of this probram is to provide enough data over sufficient time periods to manufacture mathematical models whose predictions can then be tested and checked with minimum additional effort and funding. The main problem is to obtain enough quantitative data in order to establish certain coefficients of populations and of environmental parameters as seen under natural conditions. The extent of the data required is indicated by such studies as have been recently initiated by Belgian oceanographers under the program "Math Modelsea" (1974) and by Danish investigators who are attempting to build a multispecies extension of the Beverton and Holt model, including a consideration of primary production (Anderson et al. 1973; Ursin 1974). In Ursin's work the data input is particularly well defined. He considers eleven species of commercially important fish which make up over 90% of the total landings from the North Sea. The area he considers is 5×10^5 km^2 having a volume of 5.5×10^{13} m^3. The data required are body weight of fish of different ages, numbers of fish, mortality coefficients, spawning data, age at first maturity, egg size, zooplankton biomass in three species types, algal biomass, and monthly production data. With some effort it is possible to make reasonable estimates of all of these parameters, as well as others, such as physical components, if they are required.

The "Math Modelsea" program represents the work of some 250 Belgian scientists who are engaged in a nation-wide research and development project on the physical and biological environment. The program is probably the most ambitious of its kind and reflects a masterful degree of cooperation between some 40 laboratories. The cost per year is approximately a million dollars, but the value of the initial work in terms of management decisions and predictive capability is already impressive. There is no

reason why such an approach could not be attempted for some of Canada's coastal waters. However, in organizing such a program, the Belgian government played a decisive role through the Department for Scientific Policy, Office of the Prime Minister. Thus the program was not designed to serve the special interests of any one marine station and the coordinator was carefully chosen to assure maximum cooperation among national institutes.

In Canada, it appears that large programs are too often in the special interests of a local institution and there is insufficient evidence that the funded program will benefit from cooperation among all the interested scientists in any one area. Funding of large programs must be regarded as regional funding and not as institutional funding. Two contemporary programs which come closest to being government organized, large-scale projects are the proposed Gulf of St. Lawrence and Strait of Georgia programs. In the first of these, an independent coordinator was seconded from academic circles and this has assisted in widening institutional participation in the program. The Department of the Environment was identified as the lead agency but participation in the project includes other government departments, provincial governments, eleven universities, the National Museum of Canada and various industrial concerns. In the second program, cooperation on the biological aspects of the program are at present not clearly defined.

The geographical coverage of Canadian biological oceanographic investigations can generally be represented by fairly intensive observational programs in near shore waters which decline almost exponentially in their data content in offshore waters. This is probably a reasonable distribution of effort but future survey programs should take into account the following needs:

1. The immediate coastal approaches will remain the most susceptible to high fishing intensity, pollution and the initiation of aquaculture projects. Therefore, programs such as the Strait of Georgia program, the St. Lawrence estuary programs (i.e. IBP and GIROQ), the Gulf of St. Lawrence program and transects across the Scotian Shelf are geographically the most important areas for field programs.

2. New programs in the Arctic and on the Grand Banks are needed in order to develop managerial "know how" in locations where existing or proposed activities require further knowledge of the marine environment.

3. The high-seas environment of the Gulf of Alaska and the Labrador Sea are important to the ocean survival of salmon spawning in Canadian rivers. In addition, new ocean fisheries (see Fig. 6) could develop in offshore oceanic areas of interest to Canada. Therefore, it is necessary to obtain a better understanding of factors governing the biological environment of these regions.

4. There is a need to have special coastal locations set aside for experiments in biological oceanography. Such experiments would include the intensive field-programs carried out in St. Margaret's Bay, N.S., and Saanich Inlet, B.C. These programs are needed in order to underderstand the more basic details of biological oceanographic relationships which can then be used in studying large-scale oceanographic problems.

5. In aquaculture there is a need for biological oceanographers to become involved in site selection and in the biology of organisms that are grown using the natural productivity of the sea (e.g. molluscs and seaweeds). Biological oceanographers should also become involved in any new attempts to establish exotic species in Canadian waters.

On the institutional level there appears to be considerable fragmentation of biological oceanographic effort (Table 1) among Canadian research laboratories. This can be seen both at the university level, where some duplication of effort is occurring in closely associated areas, and at the FMS government laboratories. Specific examples of where more overall planning is needed occur when one finds that the biological oceanographic effort at Newfoundland's Memorial University, is less than that at Ontario's Guelph University. It appears incongruous that a university located in such close proximity to the Grand Banks does not have more support for benthic studies of this area, particularly in terms of oceanographic ship availability. The development of two biological oceanographic schools in the St. Lawrence estuary (Laval University and the University of Quebec at Rimouski) and two in the Strait of Georgia (IOUBC and the University of Victoria) require coordination of effort in order to avoid duplication and fragmentation of funds. For example, it is conceivable that one institution could specialize in the benthic habitat and another in the pelagic habitat. A similar situation has occurred among FMS laboratories, as for example in the case of two biological oceanographic laboratories at Nanaimo and West Vancouver in relatively close proximity to each other. Differences in the growth of university biological oceanographic studies through an essentially uncoordinated democratic process of NRC funding and the growth of FMS biological stations through bureaucratic planning should be examined in terms of a national oceanographic policy that assures excellence of

research while avoiding redundancy in terms of defending purely institutional hierarchies.

Finally, there is an interesting inconsistency in the funding of biological oceanography in Canada (Section 3.1) and the distribution of biological oceanographers (Section 3.2). While national funding of biological oceanography is less than 10% of the total marine science budget, the manpower distribution of scientists (Table 2) shows that nearly 25% of all marine scientists in Canada are biological oceanographers. The reason for this disproportionate figure is not immediately clear, but within individual institutes it is apparent that work funds assigned to fisheries scientists and physical-chemical oceanographers are larger than those generally assigned to biological oceanographers. One can in fact easily gain an impression that the "average" Canadian biological oceanographer is a rather poorly paid scientist whose major piece of equipment is a microscope! This is a position he may have inherited through a lack of better training (see Section 5.2), his lack of involvement in real problems and a lack of more imaginative research approaches. If this is an appropriate diagnosis of the current "average" picture, there should be some national attempts to upgrade the science, both in teaching and the award of research funds.

5.2 The Training and Development of Biological Oceanographers

Section 3 gives a summary of the general level and extent of biological oceanographic training in Canada. From this section it is apparent that the teaching of biological oceanography is widespread throughout Canada and is not limited either to Canada's two university centers of oceanographic research or to universities located in maritime regions. It is difficult to compare the relative content of courses taught at different institutions but it is quite apparent from private discussions that the teaching of biological oceanography does not mean the same thing to different lecturers in different universities. The question of whether biological oceanography should in fact be taught at so many places in Canada is really not worth debating because it is unlikely that this report will change any teaching curriculum where there is obviously a wide popularity for learning something about the biology of the oceans. The question can, however, be asked differently; assuming that at least some biological oceanography is taught in order to produce a professional cadre of biological oceanographers, what should be the Canadian teaching curriculum for this subject? Two further qualifications affecting this question are the state of a student's preparedness and what kind of job he will be seeking on graduation. Regarding student preparation, I shall assume that professional training as a biological oceanographer starts after having received a B.Sc. in one of a variety of subjects including, biology, chemistry, physics, or geology. Secondly with regard to the job for which a student is being trained, I shall assume this is for independent basic or applied research, such as you would expect from a Ph.D. in any other field. For this training program it is suggested that a minimum Canadian teaching curriculum for a Ph.D. should include, in addition to an original thesis, the following: (for definition of a credit, see Table 4).

i) Basic course in the taxonomy of marine flora and fauna with separate emphasis on plankton and benthic communities. (1 credit).

ii) Biological oceanographic methodology including the analysis of sea water and plankton, as well as experience on an oceanographic vessel. (1 credit).

iii) Descriptive biological oceanography showing the distribution of marine plants and animals in the hydrosphere and the existence of certain biological communities; course to include a discussion of fisheries and polution problems. (2 credits).

iv) Biological oceanographic processes showing how organisms interact within a community, using empirical mathematical relationships to quantify the degree of interaction. (2 credits).

v) Mathematical models of marine communities showing different attempts to simulate the marine environment including trophodynamic and population dynamic models. (2 credits).

vi) Statistics of marine populations showing distributions of marine organisms and sampling problems. (2 credits).

In addition to this training in biological oceanography, the student should be required to take at least 2 credits each of physical, chemical, and geological oceanography and usually some additional course work in his area of specialization.

In suggesting the above as a required teaching curriculum it can be seen from section 3.3 that no university in Canada at present provides such a program. In most universities that offer some courses in biological oceanography, the teaching of physical, chemical and geological oceanography is absent. At others that include the teaching of these subjects, there is a lack of teaching in some parts of the biological oceanography course program; notable deficits here include a lack of teaching in the fields of mathematical models, the statistics of marine distributions, and the exclusion of subject matter on benthic and fish communities as part of the biology of the sea. The

course requirements at IOUBC and Dalhousie University come closer to providing professional training in biological oceanography than any other university in Canada, but even these two universities do not provide as full a curriculum as is suggested above.

The current distribution of biological oceanographers in Canada is discussed in section 3.2 of this report. From this discussion it is apparent that the growth rate in numbers of biological oceanographers in Canada is about twice as rapid as that projected by Stewart and Dickie (1971) but that it is much less than the projected graduation rate of marine biologists. From this we must assume that a lot of people who are being taught marine biology are not ending up as biological oceanographers; other areas of employment which must be absorbing the bulk of the marine biologists include fish physiology, fisheries management, parks boards, and population dynamic studies. It may be said, however, that at least the country is not graduating too few persons in biological oceanography; rather there is some question whether all the graduating students are finding jobs in their chosen profession.

In the latter respect it may be worth considering the role of marine naturalists in our society. The environmental movement in North America has created a concerned public without creating a matching body of knowledgable advice where information can be obtained. Membership in naturalist societies has greatly increased, due in part to the environmental movement but also to the greater amount of leisure time available to the public. Since marine biology is a naturally popular subject, the widespread teaching of this subject might in part be channeled into public relations through professional naturalists. An informed public is an educated public who is likely to develop responsible attitudes towards some problems as port development. Surely the brilliance of Jacques Cousteau can find some Canadian counterpart. As Hedgepeth (1957) has pointed out, naturalist studies of the sea were a part of the leisure time education of the aristocracy in Victorian England; could we not provide the same for the masses in contemporary Canada?

Table 3 and Fig. 2 show the distribution of biological oceanographers in Canada. From these data it is apparent that there is a need for more professionalism in the field of radiant energy studies in the sea (including studies under ice) and that the importance of the phytoplankton community as a determinate factor in regulating the complexity of the marine food web is a neglected field of study. Further, although Fig. 2 indicates a large group of fisheries scientists, all but a very few of these are in species-orientated fisheries research as opposed to community-orientated studies. There is therefore a need to have fisheries scientists who can understand such questions as how the marine community supports its most successful tertiary producers (which because of their success as fish, are in turn the subject of a fishery).

The training of biological oceanographic technicians and technologists is at present generally accomplished either through hiring of B.Sc. graduates who have some background training in oceanography or a related science, or by a process of apprenticeship in which a person hired to carry out a certain procedure is kept on because of his or her particular ability at that procedure. This system has proved to be moderately satisfactory but there appears to be a growing need for a postgraduate course in biological oceanography for the training of senior technicians or technologists. In government service, for example, there are three levels of hiring, viz, technician, biological scientist and research scientist. While our current teaching program provides B.Scs. for technicians and Ph.Ds. for research scientists, there is no specific training program for biological scientists. It is suggested, therefore, that a non-thesis (i.e. nonresearch) M.Sc. degree should be instigated along the lines of the degree described at the University of Southampton (Section 3.3). This degree would be awarded as a postgraduate degree following one year to eighteen months of intensive interdisciplinary course and project work in oceanography, with an emphasis on biology. It is intended that such a course would prepare a person for increasingly complex problems of oceanographic science, such as sea water analysis, data handling, cruise organization and supervision of technicians hired to conduct surveys.

5.3 Instrument and Facility Development

Section 4.7 describes some of the general desiderata of biological oceanographers in terms of instrument development and facilities. In the following section specific problems are discussed with particular reference to the Canadian scene.

The cost of instrument development is very high and in oceanography the risk of losing the prototype while at sea is an added liability. For this reason, much of the hardware used by Canadian oceanographers has been imported. In some areas, however, marine instrumentation has been developed successfully in Canada; examples include a deep submersible (Pisces), an in situ zooplankton counter (Boyd and Johnson 1969), a towed body for in situ recorders (Batfish) and large plastic water columns as employed in the

CEPEX project. All these advances in technique have in some way assisted in biological oceanography. However, while they represent successful developments, there are other projects which have reached less successful conclusions in terms of instrument development. The inventorial genius is not something that can be written into scientific plans. Rather the original nature of inventions should be evaluated through the widest scientific channels (government and university scientists) and the eventual development of the product left up to private industry.

If there is to be a national oceanographic policy towards instrument development it would be most expedient to see it directed towards in situ sampling apparatus. As has been described in Section 4.7, there are a number of developments in this field that enable the biological oceanographer to see the oceans as they really exist at any one time, and not after samples have been squashed into nets, chewed up by sediment grabs or displaced from their natural habitat by a sampling bottle. In the development of in situ techniques consideration must also be given to the immense area and volume that must be covered in both the coastal and oceanic waters of the Atlantic, Pacific and arctic. Therefore, a second consideration in a Canadian context must be where possible for extensive areal or time sequence coverage using satellites, planes, or unmanned buoys.

The special problems of the benthic ecologists in examining the natural state of benthic communities and the effect of man on these environments require reexamination in the context of being able to develop new managerial strategies for resource development on the ocean bottom. In particular, it appears that at some future time consideration should be given to a large research submarine for studies on the Canadian continental shelf. Such a vehicle would be essentially a mobile underwater laboratory and should be built in cooperation with, or by, the Canadian Navy.

There is reason to believe that many professional biological oceanographers are not taking advantage of some of the sophisticated techniques that are being used in other scientific professions. Encouragement should be given to biologists to develop better sensing techniques, particularly with respect to in situ samplers and to engage in more imaginative approaches to biological oceanographic problems. However, the construction of any new biological oceanographic facility must be preceded by a clear definition of the scientific program that requires the facility. Million dollar pieces of equipment must be effectively utilized to provide million dollar answers. It is important that the recognized expense of oceanographic equipment should be properly channeled into active research and young scientists, in particular, should be consulted on expensive equipment needs.

5.4 Investigations in Pollution Research

The most serious problems in marine pollution are associated with near shore processes. Because it is also the near shore environment that contains some of the life stages of Canada's most important fisheries (e.g. lobster, salmon, herring, etc.), it is self-evident that the bulk of Canada's marine pollution research will involve the coastal zone.

Two points of interaction between oceanography and industrial or municipal polluters are in (1) pollution prevention and (2) habitat protection.

In pollution prevention the oceanographer is largely concerned with industrial and municipal outfalls, and how to dispose of toxic or obnoxious substances at sea. Biological oceanographers are being consulted on these problems insofar as they concern disposal problems, particularly those which directly harm the natural environment (e.g. heavy metals and organic solvents). However, a more positive attitude toward some kinds of pollution would be to consider the reutilization of many of the so-called "wastes" of industry. In this area Canada has a great need to develop biological oceanographic expertise. Problems that might be tackled regarding waste reutilization include the disposal of sewage, heat, fish wastes, and pulp mill effluent. Essentially, these "waste" products have in common the fact that they represent large reservoirs of energy or materials that man has gone to great lengths to concentrate, only to extract one product and then dispose of the rest as quickly as possible. The opportunities of using these wastes through the cultivation of marine organisms, such as some of the scavenger species of the sea, appears as a profitable route for exploitation in pollution prevention.

In terms of habitat protection, Canada has an almost unique role to play among western industrial countries in that the size of our coastline relative to the degree of our industrialization has left many areas of coast totally unspoiled by man's activities. However, in some of these regions there is now a potential threat from undersea mining (e.g. oil) as well as from the establishment of new industries in coastal areas. The problem here is that often the biological oceanographer does not know enough about near shore processes to give a valid judgment

on what would constitute a policy of habitat protection. Through such frustrations an essentially negative attitude has developed among certain scientists which has made the liaison between scientists and developers difficult. One argument that has been created in this vacuum of knowledge has been that it is always necessary to preserve the natural state of the environment. This may be true in terms of a spawning channel or migration routes of adult fish. However, the natural states of some environments are in fact synonymous with old age among people and a science of 'ecological geriatrics' might do a lot to improve our near shore habitats. Analogous situations in the terrestrial habitat occur when an overgrowth of coniferous forest is removed with a resulting explosion in animal (e.g. deer) and plant populations. In coastal zones, management schemes involving river flow diversion, breakwaters, sand dune development by dredging and underwater reefs could do a lot to protect and develop habitats. These programs could sometimes be carried out in conjunction with industrial and port developments.

It should be recognized that habitat protection must also be applied as much to the fishing industry as to land-based industry and undersea mining projects. Documentation of the effects of fisheries on the marine habitat is generally lacking except in a few cases where one fishery causes damage to another. For example, the bottom gillnet fishery for groundfish off the coast of St. John's, Nfld., is estimated to destroy 160,000 lb of commercial sized crabs and 30,000 lb of subcommercial crabs annually (Fisheries Research Board of Canada, Review 1973). The effect of trawling on bottom communities has also received some investigation although there are no long-term studies on the disruptive effects of bottom trawls. These problems require study by biological oceanographers and in particular by benthic ecologists.

The activities of companies engaged in undersea mining are likely to lead to some new forms of marine pollution. These may be purely structural problems, such as digging and dumping sediments, or more subtle effects such as nutrient enrichment and light attenuation caused by bringing up deep water with a high sediment load during mining operations.

Finally, the problems of global oceanic pollution of the marine environment are probably best left to the marine chemist until such time as background levels can be established against which to measure hydrospheric contamination. Some experimental work on possible global contaminants, such as hydrocarbons and lead, needs to be performed, however, in order to assess the possible low-level chronic effects of these substances.

5.5 International Relations

Section 3.5 gives a summary of the involvement of Canadian biological oceanographers in international agencies. Generally, this involvement covers a rather low level and cursory participation in some fisheries agencies (IGOs) and a much more active participation in scientific agencies (NGOs). It appears that this pattern of involvement is likely to remain the same for the immediate future but that at some time there will have to be a greater participation of Canadian biological oceanographers in the work of fisheries agencies. One symptom of this is the setting up of an environmental working group by ICNAF, and the United States' MARMAP program with its obvious continental implications towards Canadian involvement.

Outside of agency cooperation, biological oceanography has yet to play any significant role in the field of foreign aid. Other countries have developed bilateral aid schemes involving some of the developing nations (e.g. the Indo-Norwegian and Polish-Guinean fisheries projects). In these cases a large number of scientists and technicians (from Director to twinehand) are loaned to a foreign country to develop counterpart expertise among the developing nations. The projects are financed through foreign aid but use expertise from government and university laboratories. The use of Canadian-built hardware and supervisory onsite management would assure a more effective economic and scientific form of assistance than is generally obtainable under multinational aid schemes.

At some time in the future it may also be possible to consider a Canadian training–research vessel which could visit various ports in the developing countries of the world and teach through on-board lectures and at-sea experience. Subjects should include all branches of marine science. During interport cruises this foreign aid research vessel could carry out hydrospheric and atmospheric research to assist in a better international watch on our air and water environments. The concept of a visiting Canadian vessel in the above sense might serve as a better ambassador of Canadian nationalism than the usual diplomacy of flag showing by armed naval vessels.

Canadian involvement in the multinational oceanographic expeditions that took place in the 1960s was generally low. Our oceanographic vessels have only recently taken part in expeditions outside of waters of immediate interest to Can-

ada. Apart from the suggestions regarding foreign aid made above, it is generally true that our local oceanic areas are already so vast and so underexplored that we have little effort to spare in other regions of the world. However, in the case of the Pacific, there is some rationale in studying the western approaches to our coast since the same waters that pass the coast of Asia reach our shores several years later. Multinational oceanographic expeditions within waters of Canadian interest, such as the ICNAF sponsored Norwestlant studies should be encouraged as lending foreign expertise to our limited research resources.

The need for Canadian oceanographic expertise in developing nations gives rise to the question of how Canadians can use their experience from subarctic waters in tropical and subtropical environments. One solution to this problem would be to establish a subtropical school of biological oceanography at McGill University's Bellaires laboratory in Barbados. Such a school could be used both for the training of our own overseas experts as well as for the holding of training courses for students from the developing nations.

6. Recommendations

The following recommendations are made as a summary to discussions presented in the previous section and in the two Appendices. They are divided into two time scales; one for suggested immediate adoption and the other for consideration within a longer time period.

Short-Term Recommendations:

1. Biological oceanographers should become involved in all FMS fisheries research programs on our existing and potential fisheries. This recommendation is directed as much to fisheries managers as to biological oceanographers.
2. A better teaching curriculum should be adopted for the teaching of biological oceanography at Canadian universities. Suggested details for such a curriculum are given in the text of this report.
3. Biological oceanographers should become more involved in research problems on pollution with a positive attitude towards reutilization of pollutants, multi-resource development, and novel attempts to assist both nature and industry.
4. Long-term monitor programs to measure biological parameters should be started in certain critical marine areas, such as the Strait of Georgia, the St. Lawrence Estuary and the Grand Banks. The possibility of using commercial vessels together with aerial and satellite monitoring should be considered in these programs.
5. Any large regional input of funds to biological oceanography by the government should be regarded as regional funding and not a private boost to any one research organization. Clear demonstration of government, university, and industry cooperation is needed before the award of these funds.
6. While the expense of some oceanographic facilities, including ships and laboratories, is clearly recognized, their constructions should often be better defined in terms of their geographic location, scientific program, and scientists responsible for utilizing the facility. In particular younger scientists who are often requested to make use of a facility, should be consulted in planning prior to construction.
7. Greater use should be made of visiting committees at FMS laboratories in order to assess local scientific needs. NRC visiting committees to universities should be continued.
8. More science is required in benthic ecology in order to identify the role of nearshore benthos in coastal production processes, including coupling processes between pelagic and benthic systems, especially in respect to the identity of energy pathways to benthic fisheries. In this respect, fisheries managers should become better informed on the relationships between benthic productivity and fisheries.

Long-Term Recommendations

1. A discussion on the possible need for a national oceanographic program should be held in order to decide where emphasis should be placed in terms of oceanographic ship facilities, the teaching of biological oceanography, funding of research and maintenance of monitoring programs.
2. Better research facilities are required for the study of benthic communities at the mud–water interface. One such facility might be a mobile underwater research laboratory, such as a large submarine.
3. There is a need to undertake research on oceanic organisms that at some time in the future may serve as a basis for new fisheries. In particular ecological information is needed on squid, small fishes, and certain zooplankton (e.g. euphausiids).
4. Specific marine sites for biological research and aquaculture should be identified and held in trust in order to insure the proper development of experimental management strategies of Canada's continental seas.

5. There is a possible need for a cadre of professional naturalists to communicate with the public on a number of issues such as those arising from near shore developments or more simply for explanations of ocean life as required by natural history societies.
6. Universities should consider the introduction of a professional degree in oceanography. The need for this degree might be best met through a non-thesis M.Sc.
7. Industry should explore the development of in situ biological samplers that can be used from commercial vessels.
8. Consideration should be given to a bilateral foreign aid scheme involving a substantial number of marine scientists.
9. The activities of COIC should be broadened to include identification of all groups of marine organisms and to act as a contractual service agency for environmental research and impact studies. It is considered advisable for COIC to establish branches on the east and west coasts.
10. There is a need to understand the basic ecology and evolution of marine arctic ecosystems. For this purpose more biological oceanographic work in the arctic is needed with supporting investigations in physical, chemical, and bacteriological studies to be conducted over a prolonged period (several years). These studies should include specific projects on the ice biota, deep scattering layers, and the physiology of vertebrates and invertebrates.
11. Better research facilities are required in arctic waters with respect to a FMS research vessel specifically designed for work in the arctic, and a research station for long-term studies in the north.
12. Predictive models of benthic ecosystems must be developed from a much greater understanding of physical variables governing changes in benthic communities.
13. Programs to research and monitor deepsea benthos off the Canadian continental slopes should be initiated.

7. Acknowledgments

I wish to acknowledge the large number of people who have given freely of their time and effort in making various suggestions regarding the development of biological oceanography in Canada. It would be impossible to represent everyone's opinions but I believe that there has been sufficient reflection on this subject to provide scientific planners with a better insight into the problems and needs of our biological oceanographers.

The report was prepared under contract for the Fisheries Research Board of Canada.

8. Glossary of Some Scientific Words Used in the Text

Abyssal zone – approximately 4000 to 6000 m deep.

Bathyal zone – approximately 200 to 4000 m deep.

Benthos – animals and plants living at the bottom of the sea.

Carnivore – flesh-eating animal.

Diversity – a measure of the number of species present relative to the total population of organisms.

Ecosystems – a community of organisms which interact among themselves and with the environment.

Eltonian pyramid – (after Elton) a group of trophic levels illustrating the relative abundance of species, biomass or energy.

Epifauna – animals living on the bottom sediment.

Fecundity – a measure of fertility of productiveness.

Hadal zone – depth greater than 6000 m.

Herbivore – plant-eating animal.

Ichthyology – the study of fishes.

Infauna – animals living in the bottom sediment.

Limnology – the study of lakes.

Littoral – the region along the sea shore.

Mixed layer – the upper layer of the ocean in which wind induced wave action mixes the water to the depth of the principal pycnocline.

Nekton – swimming animals of the pelagic zone.

Neritic – inhabiting the sea over the continental shelf (i.e., at depths of < 200 m).

Neuston – organisms living at the surface of the ocean.

Oceanic – inhabiting the sea where it is deeper than 200 m.

Omnivore – eating both plants and animals.

Pelagic – plants and animals inhabiting the mass of water of the sea as opposed to those living on the bottom (benthic).

Plankton – animals (zoo-) or plants (phyto-) which float or drift almost passively in water.

Pycnocline – points of maximum change in density.

Recruitment – fish reaching a size at which they are caught by commercial fishing gear.

Stability – (of biological communities) the ability of a system to main-

tain itself after small external perturbations.

Trophic – having to do with the feeding or nutrition of plants and animals.

Upwelling – displacement of surface layers of the ocean by winds and replacement by deeper water.

Vertical diffusivity – a nonuniform distribution of a property in a vertical gradient showing a tendency to reach equilibrium.

9. List of Abbreviations Used in the Text

ACMRR	– Advisory Committee on Marine Resources Research
CCO	– Canadian Committee on Oceanography
CEPEX	– Controlled Ecosystem Pollution Experiment
COIC	– Canadian Oceanographic Identification Centre
CUEA	– Coastal Upwelling Ecosystem Analysis
DEVCO	– Cape Breton Development Corporation
DOE	– Department of the Environment
FAO	– Food and Agriculture Organization of the United Nations
FMS	– Fisheries and Marine Service
GIROQ	– Groupe interuniversitaire de recherches océanographique du Québec
IABO	– International Association of Biological Oceanographers
IAEA	– International Atomic Energy Agency
IBP	– International Biological Program
ICES	– International Council for the Exploration of the Sea
ICNAF	– International Council for the Northwest Atlantic Fisheries
ICSU	– International Council of Scientific Unions
IDOE	– International Decade of Ocean Exploration
IGO	– Intergovernmental Organization
INPFC	– International North Pacific Fisheries Commission
INRS	– l'Institut National de la recherche scientifique
IOC	– Intergovernmental Oceanographic Commission
IOUBC	– Institute of Oceanography, University of British Columbia
IPHC	– International Pacific Halibut Commission
LORA–I	– Low Temperature Ocean Research Apparatus
MAB	– Man and the Biosphere
NATO	– North Atlantic Treaty Organization
NGO	– Non-governmental Organization
NRC	– National Research Council
SCOR	– Scientific Committee on Oceanic Research
SIO	– Scripps Institution of Oceanography
SOUQAR	– Section océanographique, Université du Québec à Rimouski
UNESCO	– United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization

10. References

ACKMAN, R. G., L. SAFE, S. N. HOOPER, AND M. PARADIS. 1973. 7–Methyl–7–Hexadecenoic Acid: Isolation from lipids of the ocean sunfish *Mola mola* (Linnaeus) 1758. Lipids. 8: 21–24.

ANDERSON, K. P., H. LASSEN, AND E. URSIN. 1974. A multispecies extension to the Beverton and Holt assessment model with an account of primary production. 62nd Annual meeting ICES, Copenhagen, Pelagic Fish Committee, H–20: 49 p.

ANTIA, N. J., C. D. MCALLISTER, T. R. PARSONS, K. STEPHENS, AND J. D. H. STRICKLAND. 1963. Further measurements of primary production using a large–volume plastic sphere. Limnol. Oceanogr. 8: 166–183.

BANNISTER, R. C. A., D. HARDING, AND S. J. LOCKWOOD, 1973. Larval mortality and subsequent year–class strength in the plaice (*Pleuronectes platessa* L.). In J. H. S. Blaxter [ed.] the Early Life History of Fish. Publ. Springer-Verlag, Berlin 21–36.

BARANOV, F. I. 1918. On the question of the biological foundations of fisheries. Nauchno–Issled. Ikhtiol. Inst., Izv. 1: 81–128.

BARRACLOUGH, W. E., R. J. LEBRASSEUR, AND O. D. KENNEDY. 1969. Shallow scatering layer in the subarctic Pacific Ocean: detection by high–frequency echo sounder. Science. 166: 611–613.

BARY, B. MCK. 1967. Diel vertical migrations of underwater scattering, mostly in Saanich Inlet, British Columbia. Deep–Sea Res. 14: 35–50.

BELL, F. H., AND A. T. PRUTER. 1958. Climatic temperature changes and commercial yields of some marine fisheries. J. Fish. Res. Board Can. 15: 625–683.

BEVERTON, R. J. H., AND S. J. HOLT. 1957. On the dynamics of exploited fish populations. Min. Agric. Fish., Fish., Food (U.K.). Fish. Invest., Ser. II. 19: 533 p.

BOYD, C. M., AND G. W. JOHNSON. 1969. Studying zooplankton populations with an electronic zooplankton counting device and the LINC–8 computer. *In* J. D. Mudie, and C. B. Jackson [ed.] Trans. of the Applications of Sea-going Computers. Symp. Mar. Tech. Soc.: 83–90.

*COWAN, R. C. 1960. Frontiers of the Sea. Doubleday and Co., New York, N.Y. 307 p.

CUSHING, D. H. 1972. The production cycle and the numbers of marine fish. Symp. Zool. Soc. Lond. 29: 213–232.

*DEACON, M. 1971. Scientists and the Sea – 1650–1900 – a study of marine science. Academic Press Inc., London. 445 p.

DICKIE, L. M. 1973a. Management of Fisheries: Ecological Subsystems. Trans. Am. Fish. Soc. 102: 470–480.

1973b. Interaction between fishery management and environmental protection. J. Fish. Res. Board Can. 30: 2496–2506.

*DUNBAR, M. J. 1973. Returns on investment in oceanographic research. Unpubl. MS. Sci. Policy Comm., R. Soc. Can. 14 p.

GLOVER, R. S. 1970. Synoptic Oceanography – the work of the Edinburgh Oceanographic Laboratory. Underwater Sci. Technol. 2: 340–40.

GOLD, A. 1973. Energy expenditure in animal locomotion.

Science 181: 275–276.

GULLAND, J. A. 1965. Survival of the youngest stages of fish, and its relation to year class strength. ICNAF Spec. Publ. 6: 363–371.

1970. The fish resources of the oceans. FAO Fish. Tech. Pap. No. 97. p. 423.

*HACHEY, H. B. 1961. Oceanography and Canadian Atlantic waters. Bull. Fish. Res. Board Can. 134: 120 p.

HEDGEPETH, J. W. 1957. Treatise on marine ecology and paleoecology. Vol. 1. Introduction 1–16.

HENSEN, V. 1887. Ueber die Bestimmung des Plankton oder des im Meere triebenden Materials an Pflanzen und Thieren; nebst Anhang. In: Funfter Bericht der Kommission z. wiss. Untersuchg. d. dt. Meere in Kiel f.d. Jahre 1882–1886. 1–107, mit einem Anhang von vier Tafein u. Fangprotokollen.

HJORT, J. 1914. Fluctuations in the great fisheries of northern Europe viewed in the light of biological research. Rapp. Proc. Verbaux. 20: 228 p.

1919. Canadian Fisheries Expedition, 1914–1915. Dep. Nav. Serv., Ottawa. 495 p.

HOLM-HANSEN, O., AND C. R. BOOTH. 1966. The measurement of adenosine triphosphate in the ocean and its ecological significance. Limnol. Oceanogr. 11: 510–519.

HUTCHINSON, A. H., AND C. C. LUCAS. 1931. The Epithalassa of Georgia Strait. Can. J. Res. 5: 231–284.

JOYNER, T. 1971. Evaluating the fitness of coastal waters for sea farming. Colloq. Int. l'Exploit. Oceans. Theme II (Paris), 2–12.

KERR, S. R., AND N. V. MARTIN. 1970. Tropho–dynamics of lake trout production systems. *In* J. H. Steele [ed.] Marine Food Chains. Oliver and Boyd, Edinburgh 365–376.

KINNE, O. 1957. Physiologische Okologie — ein modernes Forschungsgekeit, Gedanken zur Problematik und Methodik der Okologie. Biol. Zentralbl. 76: 475–485.

1970. Unterwasser laboratorium "Helgoland" — Ein naturwissen-schaftlichtechnisches Pionierunternehmen. Naturwiss. 57: 480–487.

LASKER, R. 1974. A link between food chain studies and fisheries research: a larval fish bioassay. 62nd meeting, ICES, Pelagic Fish Comm., H. 10: 24 p.

LEBRASSEUR, R. J. MS 1965. Seasonal and annual variations of net zooplankton at ocean station P, 1956–1964. Fish. Res. Board Can., MS Rep. Ser. 202: 163 p.

LONGHURST, A. R., A. D. REITH, R. E. BOWER, AND D. L. R. SEIBERT. 1966. A new system for the collection of multiple serial plankton samples. Deep-Sea Res. 13: 213–222.

MARGALEF, R. 1968. Perspectives in Ecological Theory. Univ. Chicago Press, Chicago, Ill. 111 p.

MATH MODELSEA. 1974. Mathematical Models of the Continental Seas – Dynamic processes in the Southern Bight. 62d Annual Meeting, ICES, Copenhagen, Hydrographic Comm., C – 1: 454 p.

MURRAY, J., AND J. HJORT. 1912. The Depths of the Oceans. MacMillan Co., London 821 p.

PALOHEIMO, J. E., AND L. M. DICKIE. 1970. Production and food supply. *In* J. H. Steele [ed.] Marine Food Chains. Oliver and Boyd, Edinburgh 499–527.

PARSONS, T. R. 1960. A data record and discussion of some observations made in 1958–1960 of significance to primary productivity research. Fish. Res. Board Can., MS Rep. Ser. 81: 22 p.

1972. Plankton as a food source. Underwater J. 4: 30–37.

PARSONS, T. R., AND B. R. DE LANGE BOOM. 1974. The control of ecosystem processes in the sea. *In* The biology of the Oceanic Pacific. Oregon State Univ. Press, Corvallis, Oreg. 29–58.

PLATT, T. 1972. Local phytoplankton abundance and turbulence. Deep–Sea Res. 19: 183–187.

PLATT, T., AND R. J. CONOVER. 1971. Variability and its effect on the 24 h chlorophyll budget of a small marine basin. Mar. Biol. 10: 52–65.

PLATT, T. AND K. L. DENMAN. 1975. Spectral analysis in ecology. *In* Annu. Rev. Ecol. Syst. 6: (In press)

PRINCE, E. E. 1901. Marine Biological Station of Canada. Introductory notes on its formation, aims and work. Contributions to Can. Biol., 32d Annu. Rep. Dep. Mar. Fish., Fish. Branch, Ottawa, 1–8.

1907. Prefactory Note, Further Contributions to Canadian Biology, 39th Annu. Rep. Dep. Mar. Fish., Fish. Branch, Ottawa, iii — iv.

PROSSER, C. L. 1957. Physiological variation in animals. Biol. Revs. 30: 229–262.

REGIER, H. A., AND H. F. HENDERSON. 1973. Towards an ecological model of fish communities and fisheries. Trans. Am. Fish. Soc. 102: 56–72.

RICKER, W. E. 1940. Relation of "catch per unit effort" to abundance and rate of exploitation. J. Fish. Res. Board Can. 5: 43–70.

1958. Handbook of computations for biological statistics of fish populations. Bull. Fish. Res. Board Can. 119: 300 p.

1969. Food from the sea. 87–108. *In* Resources and Man. W. H. Freeman and Co., San Francisco Calif.

RILEY, G. A. 1946. Factors controlling phytoplankton on Georges Bank. J. Mar. Res. 6: 54–73.

1947. A theoretical analysis of the zooplankton populations on Georges Bank. J. Mar. Res. 6: 104–113.

1963. Theory of food-chain relations in the ocean, p. 438–455. *In* M. N. Hill [ed.] The sea. Publ. Interscience, New York, N.Y.

ROBINSON, G. A. 1970. Continuous plankton records: variations in the seasonal cycle of phytoplankton in the North Atlantic. Bull. Mar. Ecol. 6: 333–345.

RUSSEL, F. S., A. J. SOUTHWARD, G. T. B. BOALCH, AND E. L. BUTLER. 1971. Changes in the biological conditions in the English Channel off Plymouth during the last half century. Nature 234: 468–470.

RYTHER, J. H. 1969. Photosynthesis and fish production in the sea. The production of organic matter and its conversion to higher forms of life vary throughout the world ocean. Science 166: 72–76.

RYTHER, J. H., W. M. DUNSTAN, K. R. TENORE, AND J. E. HUGUININ. 1972. Controlled eutrophication – increasing food production from the sea by recycling human wastes. Bioscience 22: 144–152.

SAMOETO, D. D. 1972. Yearly respiration rate and estimated energy budget for *Sagitta elegans*. J. Fish. Res. Board Can. 29: 987–996.

SCHAEFER, M. B. 1954. Some aspects of the dynamics of populations important to the management of commercial marine fisheries. Inter-Am. Trop. Tuna Comm. Bull. 1: 25–26.

1965. The potential harvest of the sea. Trans. Am. Fish. Soc. 94: 123–128.

SHELBOURNE, J. E. 1957. The feeding and condition of plaice larvae in good and bad plankton patches. J. Mar. Biol. Assoc. U.K. 36: 539–552.

SOUTHWARD, A. J. 1974. Changes in the plankton community of the Western English Channel, Nature 249: 180–181.

STEELE, J. H. 1974a. Spatial heterogeneity and population stability. Nature 248: 83.

1974b. The Structure of Marine Ecosystems. Harvard Univ. Press, Cambridge, Mass. 128 p.

STEPHENS, K. 1970. Data Record. Primary production data from the northeast Pacific Ocean, January 1967 to December 1969. Fish. Res. Board Can. MS Rep. Ser. 1123: 16 p.

STEWART, R. W., AND L. M. DICKIE. 1971. A Study on Marine Science and Technology in Canada. Inf. Can., Ottawa 175 p.

STRICKLAND, J. D. H. 1958. Solar radiation penetrating the ocean. A review of requirements, data and methods of measurement, with particular reference to photosynthetic productivity. J. Fish. Res. Board Can. 15: 453–493.

STRIFFLER, F. L. 1974. An expendable bathyphotometer. Ocean 74 IEEE meeting, Halifax, N.S. 2: 248–249.

SUTCLIFFE, W. H. JR. 1970. Relationship between growth rate and ribonucleic acid concentration in some invertebrates. J. Fish. Res. Board Can. 27: 606–609.

1972. Some relations of land drainage, nutrients, particulate material, and fish catch in two eastern Canadian bays. J. Fish. Res. Board Can. 29: 357–362.

SVERDRUP, H. U. 1953. On conditions for the vernal blooming of phytoplankton. J. Cons. Explor. Mer. 18: 287–295.

THOMPSON, W. F., AND F. H. BELL. 1934. Biological statistics of the Pacific halibut fishery (2). Effect of changes in intensity upon total yield and yield per unit of gear. Int. Fish. Comm. Rep. 8: 49.

URSIN, E. 1974. Input data for a multispecies yield assessment model of North Sea fisheries. 62d Annual Meeting, ICES, Copenhagen, Pelagic Fish Comm., H–40: 14 p.

WEBSTER'S NEW WORLD DICTIONARY. 1966. Coll. ed. D. B. Guralnik, and J. H. Friend [ed.]. Publ. Nelson, Foster and Scott, Toronto 1724 p.

WILLIAMS, P. M., AND L. I. GORDON. 1970. Carbon–13: Carbon–12 ratios in dissolved and particulate organic matter in the sea. Deep–Sea Res. 17: 19–27.

YENTSCH, C. S. 1973. Remote sensing for productivity in pelagic fisheries. Nature 244: 307–308.

YOUNGBLOOD, W. W., M. BLUMER, R. L. GUILLARD, AND F. FIORE. 1971. Saturated and unsaturated hydrocarbons in marine benthic algae. Mar. Biol. 8: 190–201.

*These papers may not have been cited in the text but they were utilized as background reading in the preparation of this report.

APPENDIX I

A Prognosis for Canadian Benthic Biological Oceanography

B. T. HARGRAVE

Department of the Environment, Fisheries and Marine Service, Marine Ecology Laboratory, Bedford Institute of Oceanography, Dartmouth, N.S. B2Y 4A2

AND C. D. LEVINGS

Department of the Environment, Fisheries and Marine Service, Pacific Environment Institute, West Vancouver, B.C. V7V 1N6

I. Introduction

Man's exploration of the seafloor and processes that occur at its surface began only a century ago. Knowledge has been limited because access to the seabed is difficult, expensive and often dangerous. More importantly, there has been no recognized need, other than basic curiosity, to explore these vast underwater areas. Today, the importance of the ocean floor to man is rapidly changing. The necessity of finding expanded supplies of energy and mineral resources, developing sustained yields in fisheries and dumping wastes, have dramatically underscored how little we know about processes occurring across sediment surfaces. Construction of hydroelectric and atomic power generators and industrial and superport development continue to proliferate along our coasts, yet we have little ability to predict changes that will result in near shore environments. Also, aquaculture, particularly of bottom living organisms, is now recognized as a necessary alternative to the harvesting of natural populations.

II. Past Achievements

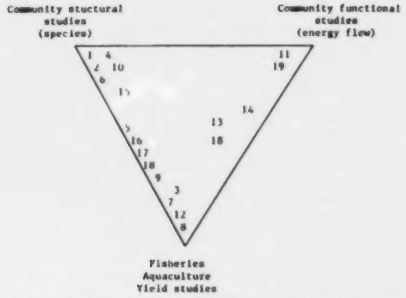
Our present inability to understand processes in marine systems in sufficient detail to predict results of altered conditions stems from historical trends in our research efforts. Before discussing these with particular reference to benthic communities, it is necessary to point out how recent scientific exploration of the biology of the seafloor actually is. Although the first

recorded collections of benthic marine invertebrates in Canadian coastal waters were taken by Dawson along the Nova Scotia coast as early as 1835, it was Dawson's and Whiteaves' collections in the St. Lawrence estuary and central Gulf only a century ago that initiated benthic biological oceanography in Canada (Whiteaves 1901). Specimens of bottom animals from the continental shelf and fishing banks off Nova Scotia taken by Willis in 1850 were supplemented by collections taken during the British *Challenger* Expedition (1872–76) and after 1877 under the auspices of the U.S. Fish Commission (Whiteaves 1901; Davis 1973). Whiteaves and Dawson also collected benthic organisms in British Columbia waters (Whiteaves 1887; Bernard et al. 1967).

One of the principal purposes behind the founding of the Biological Board of Canada, formed in 1898, was to advance knowledge of the life histories and distribution of commercial fish species. This also necessitated the identification of aquatic invertebrates that served as food resources for fish stocks. Thus, the formation of the Board simultaneously stimulated taxonomic and distribution studies of marine fish and invertebrates.

A dichotomy of research directions appeared during the early years which was to grow and result in the separation of fisheries biologists and benthic marine biologists. It arose out of the tendency for benthic biologists and fisheries biologists to concentrate their interests on a particular species or group of species. These studies did not provide ecological information required by the fishing industry and by government departments charged with managing the fisheries. While fisheries biologists concerned themselves primarily with stock assessment, patterns of migration, and factors affecting recruitment and growth, benthic biologists continued typological studies to describe the species present in various marine waters. Questions bridging the two related fields, such as the availability of food, factors affecting its production, the rate of predation by fish, and the efficiency of utilization of these food resources for growth, were left unstudied.

Past studies of benthic communities in Canadian marine waters can be arranged in a three-way classification scheme to demonstrate divisions that have occurred in approaches to related problems (Fig. 8). It would be pointless to attempt to summarize all previous studies and those examples chosen are only taken as representative of distinctly different kinds of work done in the past. Even such a partial list, however, indicates that *structural* (community) type studies have been quite separate from *functional* (trophic) energy flow investigations. Studies which do link benthic ecological investigations with fisheries problems would be mid-way between the three-cornered scheme. Consideration of each category of study in more detail will indicate reasons for the separation.



1. Berkeley and Berkeley 1954 (Polychaete classification, distribution)
2. Newcombe 1936 (Mollusc distribution)
3. Medcof 1961 (Oyster distribution, growth)
4. Bousfield 1956 (Molluscs, amphipods)
5. Brunel 1968 (Gulf of St. Lawrence, hyperbenthos, fish gut contents)
6. Ellis 1970 (Strait of Georgia infauna)
7. Dickie 1955 (Scallops, St. Mary's fisheries yield model)
8. Thomas 1970 (Prince Edward Island inshore benthos)
9. Scarratt 1968 (Lobster distribution, growth, artificial reefs)
10. Paer 1963 (Gulf of St. Lawrence, coastal bay faunal distribution)
11. Stephens et al. 1967 (Sedimentation, Departure Bay, B.C.)
12. Quayle 1971 (Oyster collections and raft culturing, B.C.)
13. Mann 1973 (Laminaria, sea urchin, lobster food chain, St. Margaret's Bay)
14. Paer 1970 (Pectinaria population production)
15. Hughes et al. 1972 (Multivariate analysis of St. Margaret's Bay benthos)
16. Levings 1972 (Winter flounder effects on amphipod population)
17. Tyler 1968, 1971 (Winter flounder, haddock, intertidal feeding)
18. Caddy 1973 (St. Andrews, scallop population studies, effects of bottom trawls)
19. Hargrave 1973 (Coupling pelagic and benthic production)

FIG. 8. Classification of some Canadian research in benthic biological oceanography. Numbers on the periphery of the triangle refer to authors and studies listed.

1. Community Structural Studies

Taxonomic surveys form the historical basis for all biological studies of bottom communities. The compilation of faunal and floral lists and descriptions of species components provide a direct quantitative measure of community structure when combined with estimates of numbers and biomass. The expertise for species identification exists in the National Museum, Ottawa, and in many provincial museums. Considerable taxonomic ability for certain groups also has been developed at several universities. Despite the widespread existence of such expertise, however, there is usually no species list available for a particular geographic area. Most studies must begin by compiling a current systematic list.

Intertidal and shallow water benthic communities have been intensively studied from a structural point of view. Deep offshore areas, on the other hand, have been less subject to observation. There have been no long-term Canadian studies of bottom communities on the Grand Banks or Scotian Shelf off Nova Scotia and it is not unusual for historical collections made scores of years ago to be the only source of information as to species present over vast offshore areas. Such paucity of knowledge has been highlighted by recent interest in deep sea lobster and king and queen crab populations. There is almost no information either on these species or the community of which they are a part on which to base even first estimates of possible sustainable yield.

2. Fisheries and Aquaculture Yield Studies

Inventories of fish gut contents have long been included in sampling programs of both pelagic and demersal fish populations on the east and west

coasts. Some of these studies, particularly those carried out in the Fisheries and Marine Service Laboratories (St. Andrews, St. John's, and Nanaimo) have been in progress for two decades. There has not been, however, a concurrent long-term sampling of benthic invertebrate populations. It is thus seldom possible to compare the abundance of particular prey species with that occurring in fish stomach contents. Studies where this has been accomplished (Brunel 1968; Levings 1972) indicate selective predation (Fig. 9). Mobile, surface-dwelling crustaceans are particularly vulnerable and infauna may only be taken on exposure. Thus, many species of bottom fauna may be largely unavailable as a food resource because of burial. Calculations of electivity indices (comparisons of proportions of various species in stomach contents and in the community from which food is taken) demonstrate such unavailability very clearly (Levings 1972), but few such measurements have been made.

It is astonishing to note, for example, that very few data on benthic biomass or production are available from the heavily fished banks of Atlantic Canada, where many of the important fish are bottom feeders (e.g. haddock (*Melanogrammus aeglefinus*), Atlantic cod (*Gadus morhua*)). Soviet biologists (Nesis 1965) have published the only data on benthos on the Grand Banks (Fig. 10). Nesis' work was done in support of the extensive Soviet fishery on the Banks.

Food availability and selective utilization by bottom living organisms (both fish and invertebrate populations) are thought to be important in determining differences in growth rates observed in natural populations. Yet it is seldom possible to relate results of these studies to those concerned with population

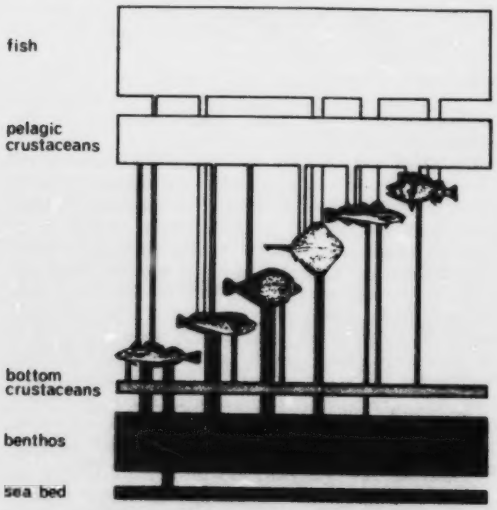


FIG. 9. Selective feeding by pelagic, demersal, and benthic marine fishes (from Zenkevich 1963). Utilization of the various food types is proportional to the thickness of the vertical bars.

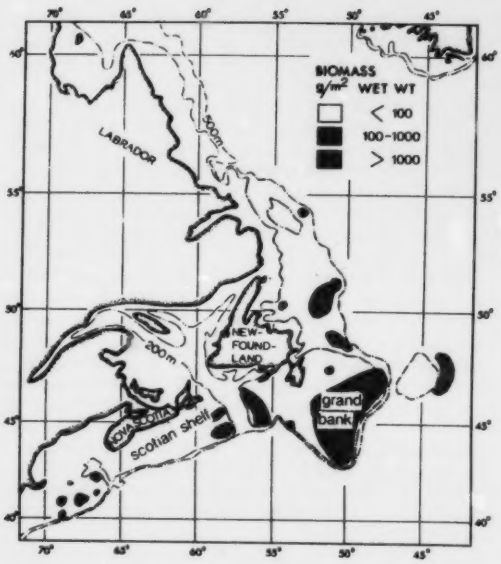


FIG. 10. Distribution of benthic biomass on the fishing banks off Atlantic Canada (from Nesis 1965).

structure and dynamics. Measurements of recruitment, mortality and growth rate, by necessity, consider all life history stages usually on as precise a numerical basis as possible. Studies of feeding, on the other hand, often consider only certain sized organisms, for example adults. The more difficult to obtain juvenile (larval) stages, where diet may change during periods of rapid growth, are usually left unstudied. Analyses of diet and feeding are also often carried out on a qualitative or semiquantitative basis and it is seldom possible to calculate accurate estimates of feeding under completely realistic environmental conditions. Thus differences in precision of data collected and limitations to interpretation prevent integration, or even comparison of data collected in these types of studies, even though similar species are considered.

Reliable indications of probable success of enhanced yield through aquaculture may be provided by the species cultured themselves. If the organism exists in the area beforehand, physical, chemical, and biological conditions can be assumed to be favorable. Thus, success of oyster cultures in British Columbia and Nova Scotia (Quayle 1971) could be predicted on the basis of preexisting populations in the inlets where cultures are growing.

3. Community Functional Studies

The absence of taxonomic emphasis in studies of food chain dynamics has resulted in a distinct separation of these investigations from those concerned with community structure. Identification of species associations in communities (Hughes et al. 1972)

could provide a bridge between the two approaches, because predator–prey links might be indicated. One worker has seldom viewed a benthic community from these two points of view, however, and to date there has been no cooperative effort among scientists considering both community structure and function simultaneously.

Physical differences between east and west coastal environments have to a considerable extent determined the types of habitats selected for study in the past. Soft-bottom intertidal areas, salt marshes, estuaries, shallow-water bays, and exposed shelf areas of the east coast, result in a commercial dominance of fish and invertebrates that are bottom feeders (plaice, cod, haddock, lobsters). This reflects the importance of detritus based food chains in shallow marine areas where attached seaweed productivity may greatly exceed phytoplankton production (Mann 1973, fig. 2). Studies of energy flow through such communities, of necessity, are concerned with the dynamics of processes at the sediment–water interface. Processes of energy transfer within sediments are of equal importance to those occurring in the water column in shallow water areas.

The deep fjords in British Columbia support pelagic food chain systems (e.g. salmon, herring) and benthic filter feeders (e.g. oysters, mussels) utilizing phytodetritus in the upper layers. The shallow waters of the narrow continental shelf support demersal fish that feed on soft-bottom benthos. Soft-bottom intertidal areas are rare on the West Coast, and usually are located in estuaries. A recent impact study at one estuary (Squamish River) showed that juvenile salmonids were utilizing intertidal amphipods as food (D.O.E. 1972), which identified a link to benthic algae and detritus from sedges (*Carex* spp.). An extensive rocky littoral zone supports large standing crops of seaweeds on the British Columbia coast. The trophic significance of these plants, in comparison to energy inputs via river runoff and phytoplankton (Stephens et al. 1967), are only now being assessed (Foreman personal communication).

Separation of past approaches to benthic biological research demonstrates a lack of coordinated study of benthic communities. Three distinct communities of scientists exist (Fig. 8), in fact, representing each type of approach to benthic systems. The groups sometimes do not read one another's publications, usually are unaware of mutual current research activities and almost never cooperate in joint projects. The individual goal(s) of each group is also remarkably different. Community analysis studies are usually undertaken to describe structural attributes (diversity, species associations) that categorize and quantify assemblages of benthic organisms. Fisheries and aquaculture yield studies have as a primary goal the maximization of sustained production of single commercially important species. Studies of community and ecosystem energy flow attempt to relate the dynamics of all components of the community to the supply and transformation of energy. There is no overall goal common to the three approaches, nor has any achieved success in gaining a theoretical or practical understanding of natural communities that is sufficiently comprehensive to permit predictions.

III. Present Activities

Inter- or multidisciplinary studies, as in the past, are poorly represented in on-going studies. The approach requires the identification of a problem on a biological basis, yet with disciplinary boundaries bridged by focussing efforts of people with different training on a common objective (Regier et al. 1974). These types of studies must have an identifiable common goal which is recognized by all participants. Methodology may be developed, hypotheses tested or specific (crisis) problems solved depending on the common interest. Such objectives, however, seldom exist even within the community of benthic biologists themselves. Thus, it is not surprising that common goals involving other disciplines (geology, chemistry, physics) have not been identified.

Sedimentation studies constitute a type of project that has the potential of integrating the activities of different disciplines. The dynamics of benthic food chains, ratios of organic input:production and other indices of efficiency such as the proportion of supply metabolized (Hargrave 1973), may be predictably related to a small set of variables. Recent measurements of sedimentation in two east coast embayments (St. Margaret's Bay and Bedford Basin, N.S.) and an earlier study in Departure Bay, B.C. (Stephens et al. 1967) are being compared on this basis. What is lacking in these efforts, however, is that the framework of the studies, namely sites of collection and analytical treatment of samples, is based within one discipline (biology) with very little cooperative interaction with other obviously related fields (geology, sedimentology, chemistry).

The generation of testable hypotheses and comprehensive models for biological processes in benthic systems cannot be based only on an observational approach to problems. Manipulative experiments, such as studies with artificial reefs (Scarratt 1968) and trawling effects on bottom communities (Caddy 1973), must supplement traditional methods of observation to quantify change. Perturbation, either by enhancement or by disturbance is not widely used as an experimental tool in benthic research, yet this is the most direct way in which to consider the underlying mechanisms that determine pathways and rates of processes in ecological systems.

On aquaculture and pollution studies, benthic ecologists should capitalize on man-made perturbations of habitats. For example, the construction of jetties and dykes can increase the retention time of material in embayments, so that loss of biomass due to export to open waters is reduced. At the Squamish River estuary in B.C., river diversion and dyking may have reduced the flushing of amphipod biomass (*Anisogammarus confervicolus*) (Levings 1974). Because the amphipods form a food base for juvenile salmonids (D.O.E. 1972), this disrupted estuary might be used for rearing fish. Colonization of waste material (e.g. coarse mine tailings) by benthic infauna should also be investigated.

An identifiable concept which might be applicable to benthic communities involves the principle of optimization; that is the preservation of optimum conditions for sustaining the natural productivity and

diversity of a community in the presence of man's activities. Application of such a principle, however, necessitates a well-defined goal. While this is explicit for studies predicting sustained yield it is not apparent in other approaches to benthic systems. Also, optimal yields of one species in a natural system may not be achieved without some change in species diversity, which in turn could decrease community stability. We have almost no theoretical basis on which to predict these effects in benthic communities.

A full understanding of processes in benthic systems, as in all natural ecosystems, necessitates the identification of system properties that are independent of the species involved. While we must continue to collect information on the dynamics of particular organisms, particularly those of commercial interest, we must also quantify general community properties such as stability (resilience and persistence) and metabolism. For example, measures of the total information and energy content in communities may serve as predicative indicators of system maturity and organization. These features may not only be characteristic for a given community, they may also serve as boundaries within which all ecosystem functions operate.

IV. Some Methodological Problems

Before marine benthic ecologists in Canada can proceed toward modern goals, there are a number of issues that merit special mention. Without solutions, benthic research will be significantly hindered.

A. Taxonomy

Research on benthic organisms in Canadian waters is hampered by a lack of useful taxonomic literature and regional keys to the dominant species.

The bottom fauna of the shallow northwest Atlantic is characterized by many fewer species compared to the northwest Pacific (Ekman 1953) so identification is generally easier on the Atlantic coast. Regional keys or guidebooks are very sparse, however. With considerable risk of error, workers have to rely on American keys (e.g. Woods Hole keys) and European publications (e.g. Faune de France series). On the Pacific coast, biologists are forced to use keys and guidebooks for the Washington coast (e.g. Friday Harbour keys) or the Soviet literature. There are very few specialized works dealing with the B.C. fauna, with the notable exception of recent publications on polychaetes (e.g. Hobson and Banse 1974).

There is an urgent need therefore, for guidebooks, and/or keys building on knowledge, specimens and collections that already exist. Sampling intensity for taxonomic work should be carefully regulated, given the evidence that large collections of benthos already exist in certain laboratories and are being analyzed at present (e.g. Bernard et al. 1967, 1970; Lee and Bourne 1973; Grunel 1970; fig. 11). Federal and Provincial museums should be delegated a large portion of this taxonomic work. The Canadian Oceanographic Identification Centre in the National Museum at Ottawa, working with Provincial Museums, could form taxonomic service centres near the coasts, so that problems of shipping biological specimens thousands of kilometres will be avoided. A computer-based system should be established to store and process the taxonomic data and geographic check lists.

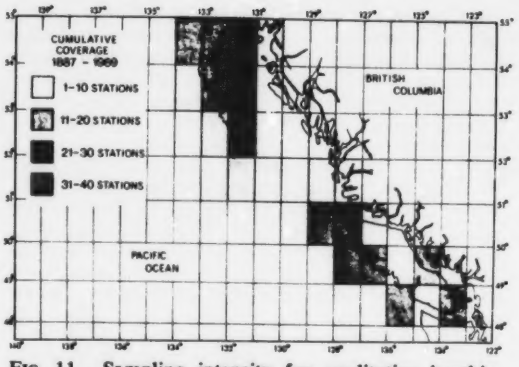


FIG. 11. Sampling intensity for qualitative benthic surveys on the Pacific coast (from Bernard et al. 1970). Data were obtained by summing stations sampled within areas bounded by one degree of latitude and longitude.

B. Sampling Methodology

For subtidal studies, there are few alternatives to traditional benthic sampling devices such as grabs. In shallow water, SCUBA greatly improves the ability of the benthic ecologist to obtain a truly quantitative sample, and to make associated environmental measurements more precisely. Lockout diving is a possibility for continental shelf depths, but rapid surveys over large areas (e.g. the Grand Banks) would require many units and trained personnel because of the physiological limitations of diving at these depths. The small research submersibles currently in use have limited ability to obtain samples, because their manipulator arms can only handle small devices such as minicorers. Replicate samples of at least 0.1 m^2 surface area and 10 liters volume are generally required for adequate soft-bottom biomass determinations. Using small corers, existing submersibles might be able to obtain samples of sediments, bacteria, and meiofauna, but this has not been attempted in Canada.

A new type of undersea vehicle is therefore required to carry out benthic research on Canada's continental shelves and coastal waters. For example, a conventional (military) submarine might be fitted out for benthic ecology. Soviet scientists have used a large submarine (the *Severyanka*) for midwater observations, but a similar vessel has not been utilized for benthic work. It might also be possible to use remote-controlled vehicles (e.g. underwater jeeps — see Horsfield and Stone 1972) such as those proposed for undersea mining.

When a suitable vehicle and sampling device have been developed, sampling techniques must be standardized among investigators, so that data are com-

parable. Attention to the mesh size used in sieving soft bottom samples is particularly desirable. Botanists have determined the minimum area required to sample various plant communities (Westhoff and van der Maarel 1973), and an attempt should be made to determine minimum area values for benthic communities in Canadian waters.

V. Specific Canadian Needs for the Future

Two distinct types of needs can be recognized for future marine ecological research in Canada: highly feasible needs that are already predictable from current research directions and aims that relate to the overall development of a theoretical base for studies of properties of ecological systems. The order of presentation of these needs does not reflect a priority rating.

(i) The use of intertidal fauna as food for fish, the supply of nutrients from the sediments for phytoplankton production and the production of benthic algae and vascular plants as a direct food source and as a mechanism of detritus production, all reflect the importance of benthic-related processes in coastal productivity. Rates of these processes should be examined in as many types of coastal environments as possible (e.g. protected and exposed inlets), thus permitting physical modelling over a range of conditions of water exchange.

(ii) Models which relate the input of material to benthic communities by combining measures or indices of primary production and sedimentation with estimates of decomposition both in the water column and at the sediment surface would indicate the degree to which processes within benthic communities integrate events that occur in overlying water. Such studies also provide a focus for other disciplines (geology, sedimentology and chemistry) concerned in different aspects of the behavior of particulate material in the water column and at the sediment surface. Such studies carried out in coastal areas (embayments, fjords) and in offshore areas (Grand Banks, Hecate Straits) would also directly quantify the greater importance of events at the sediment surface in near shore shallow waters. To effectively use shiptime, collaborative cruises with geologists (e.g. Geological Survey of Canada) and biologists should be encouraged. This has already occurred, to some extent, on the West Coast.

Energy transfer to benthic-feeding fishes should be investigated in this research program, and the fishing banks off Newfoundland or Nova Scotia should be the major recipients of this attention. Our knowledge of these areas is almost nonexistent, even though their benthic habitats yield thousands of tons of protein yearly. By combining the existing benthic data (Nesis 1965) with the wealth of catch data available from fishery agencies, it might be possible to choose an appropriate study area off Newfoundland. If an area on the Scotian Shelf is chosen, surveys for benthic biomass will be necessary, as there are no previous data. A representative habitat for demersal or benthic fish on the West Coast (e.g. Hecate Strait) should also be examined.

(iii) Studies of community biomass in a variety of locations combined with laboratory feeding experiments should be carried out on exploitable benthic invertebrates (e.g. lobsters, sea urchins, various molluscs, etc.). Models relating biomass and growth rates under different conditions can be used to predict a range of production: biomass ratios relative to habitat conditions. Such data would form a basic criterion for estimating sustained yield expected in a given area. Also, general patterns in levels of abundance, particularly maximum densities achieved, may exist which if identified could be used to infer limits to community structure and hence aquaculture potential.

A recent transplant of Atlantic lobsters (*Homarus americanus*) to the Pacific coast emphasized that oceanographic knowledge, especially as it pertains to larval ecology, is vital before predictions can be made. Because of flushing in the study area on the west coast of Vancouver Island, larval lobsters were extremely rare, and it was concluded that a huge number of adults would be necessary to foster a commercial stock (Ghelardi and Shoop 1972).

The enhancement of existing species of benthic organisms should be encountered (e.g. Stewart 1974). In British Columbia, for example, there are many underutilized benthic species, and they are obviously adapted to local conditions. Some examples are mussels (*Myltilus edulis*), brown shrimp (*Crangon franscicorum*), and squat lobsters (*Munida quadrispina*). In contrast to the enhancement of local species, exotic species are sometimes accompanied by the risk of accidental introduction of undesirable flora or fauna (e.g. the seaweed *Sargassum muticum* with Japanese oysters; Quayle 1969).

(iv) A need exists to identify appropriate time scales of change and to quantify them by suitable measures of community structure. It is already known that species associations and diversity, and total fauna biomass, provide a qualitative indication of environmental change. The relationships must be quantified, however, before they can receive general application and be used in a predictive way. Long-term monitoring stations in productive coastal areas, fishing banks and industrialized inlets should be designated and joint survey programs initiated which combine federal and provincial museum personnel and government research facilities. Such survey sites must be located in areas where other on-going monitoring and/or research programs are being carried out thus providing additional data against which changes can be viewed. It should be recognized that fluctuations in benthic communities occur on several time scales, imposed by the longevity of the species composing the communities. Small species have short life spans and reflect short-term (monthly, yearly) shifts in environmental conditions, whereas long-lived, larger species can integrate environmental conditions over decades.

(v) Experimental enhancement and disturbance of natural benthic systems provide data unavailable by other methods. Limitations to experimental studies of the ocean floor are obvious when it is realized that no sampling device exists that can retrieve undisturbed cores with overlying water from the sea and maintain in situ temperature and pressure. In addition to

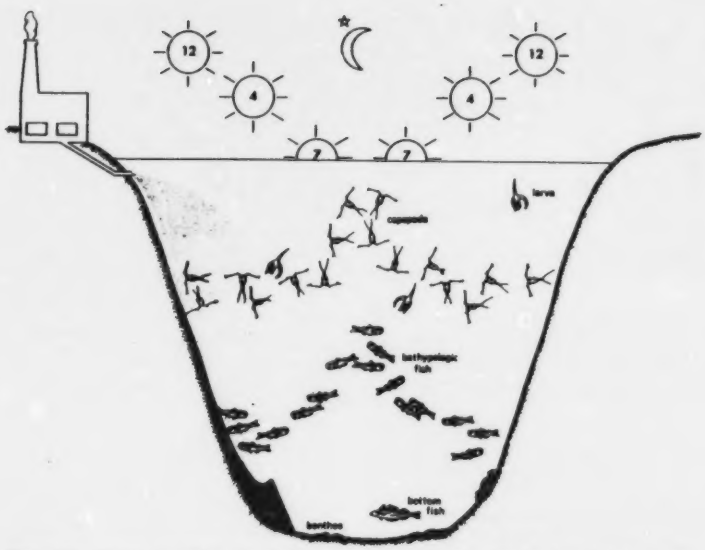


FIG. 12 Cross section of a fjord or deep basin, displaying biotic links between benthic and pelagic systems.

sample retrieval, there is an urgent need for the development and support of shallow and deep-water experimental units for use in in situ investigations. The use of submarines, capable of remaining at the sediment surface for several days, for this purpose would be an excellent extension of available technology from military to research functions. The research on underwater habits underway at the Faculty of Engineering, Memorial University of Newfoundland (English 1973), should be intensified. All underwater habitats developed for use in Canadian waters must be able to cope with cold water conditions.

(vi) An understanding of factors that control benthic community structure necessitates the development of methods for observing community properties in a holistic manner. Size, distribution, spatial patterns of abundance (heterogeneity), and changes in numbers and biomass with time are common properties of all communities of organisms. It is only when ecological systems are viewed in these terms that some theoretical basis for understanding will be reached.

(vii) The deepsea environment is one of the least known habitats on the planet, and human utilization of the deep ocean and its resources will no doubt occur in the near future. Fishes of the continental slope (e.g. rattails, *F. macrouridae*) will probably be future sources of protein if traditional shallow-water fisheries are reduced. It is also likely that there will be requirements for knowledge of deepsea benthos as ocean mining and underwater pipelines become commonplace, and citizens become concerned about the ecological impact of such activities.

Deepwater communities are generally regarded as "cut-off" from upper layers, so where deep water is present near shore (e.g. B.C., Nfld., Saguenay), sublittoral discharge of pollutants is often contemplated (Fig. 12). However, the connections (energy, flows, larval transfers) between the deep benthic and pelagic biota are not really known and deserve attention. In an impact study of a Norwegian fjord (500 m), Brattegard and Hoisater (1972) used a variety of sampling gear which showed that pelagic and benthic animals were often found in the same habitats.

The deepsea work currently underway in Canada (e.g. Mills' work on deepsea benthos off Newfoundland) should continue. Emphasis should be placed on the continental slope, and near-shore "deep" habitats, especially in fjords with industrial activity on their shorelines.

BERKELEY, E., AND C. BERKELEY. 1954. Additions to the polychaete fauna of Canada, with comments on some older records. J. Fish. Res. Board Can. 11: 454–471.

BERNARD, F. R., N. BOURNE, AND D. B. QUAYLE. 1967. British Columbia faunistic survey. A summary of dredging activities in Western Canada 1878–1966. Fish. Res. Board Can. MS Rep. 920: 61 p.

1970. British Columbia faunistic survey. A summary of dredging activities 1967–1969. Fish. Res. Board Can. MS Rep. 1082: 7 p.

BOUSFIELD, E. L. 1956. Studies on the shore crustacea collected in eastern Nova Scotia and Newfoundland, 1954. Natl. Mus. Can. Bull. 142: 127–152.

BRATTEGARD, T., AND T. HOISATER. 1972. Benthic biology of Fensfjord. Unpubl. rep. for Norsk Hydro. Biol. Stn. Blomsterdalen, Norway. 276 p.

BRUNEL, P. 1968. The vertical migrations of cod in the southwestern Gulf of St. Lawrence, with special reference to feeding habits and prey distribution. McGill Univ., Mar. Sci. Cent., Ph.D. Dissertation. 510 p.

1970. Catalogue d'invertébrés benthiques du Golfe Saint-Laurent recueillis de 1951 à 1966 par la Station de Biologie Marine de Grande-Rivière. Trav. Pêch. Qué. 32: 54 p.

CADDY, J. F. 1968. Underwater observations on scallop (*Placeopecten magellanicus*) behaviour and drag efficiency. J. Fish. Res. Board Can. 25: 2123–2141.

1973. Underwater observations on tracks of dredges and trawls and some effects of dredging on a scallop ground. J. Fish. Res. Board Can. 30: 173–180.

DAVIS, D. S. 1973. Notes on a collection of specimens made by the CHALLENGER Expedition 1973. Curatorial Rep. No. 9, N.S. Museum. 12 p.

1972. Effects of existing and proposed industrial development on the aquatic ecosystem of the Squamish estuary. Dep. Environ., Fish. Serv., Vancouver, B.C. 38 p. and Append.

DICKIE, L. M. 1955. Fluctuations in abundance of the giant scallop *Placopecten magellanicus* (Gamelin), in the Digby area of the Bay of Fundy. J. Fish. Res. Board Can. 12: 797–857.

EKMAN, S. 1953. Zoogeography of the Sea. Sidgwick and Jackson, London. 417 p.

ELLIS, D. V. 1970. Ecologically significant species in coastal marine sediments of southern British Columbia. Syesis 2: 171–182.

ENGLISH, J. D. 1973. Lora-I — Canada's First Ocean Habitat. Paper presented at Fifth International Conference on Underwater Education. Dep. Eng., Memorial Univ., St. John's, Nfld.

GHELARDI, R. J., AND C. T. SHOOP. 1972. Lobster (*Homarus americanus*) production in British Columbia. Fish. Res. Board Can. MS Rep. 1176: 31 p.

HARGRAVE, B. T. 1973. Coupling carbon flow through some pelagic and benthic communities. J. Fish. Res. Board Can. 30: 1317–1326.

HOBSON, K., AND K. BANSE. 1974. Benthic errantiate polychaetes of British Columbia and Washington. Bull. Fish. Res. Board Can. 185: 111 p.

HORSFIELD, B., AND P. B. STONE. 1972. The great Ocean Business. Coward, McCann, and Geoghegan, New York, N.Y. 268 p.

HUGHES, R. N., D. L. PEER, AND K. H. MANN. 1972. Use of multivariate analysis to identify functional components of the benthos in St. Margaret's Bay, Nova Scotia. Limnol. Oceanogr. 17: 111–121.

LEE, J. C., AND N. BOURNE. 1973. Marine bibliographical and review study of Pacific Rim National Park. Fish. Res. Board Can. MS Rep. 1276: 121 p.

LEVINGS, C. D. 1972. A study of temporal change in a marine benthic community, with particular reference to predation by *Pseudopleuronectes americanus* (Walbaum) (Pisces: Pleuronectidae). Ph.D. Thesis. Dalhousie Univ., Halifax, N.S. 201 p.

1974. River diversion and intertidal benthos at the Squamish River estuary, British Columbia. Proc. Symp. Influence of Fresh Water on Biological Processes in Fjords (In press)

MANN, K. H. 1973. Seaweeds: their productivity and strategy for growth. Science 183: 975–981.

MEDCOF, J. C. 1961. Oyster farming in the Maritimes. Bull. Fish. Res. Board Can. 131: 158 p.

NESIS, K. N. 1965. Biocoenoses and biomass of benthos of the Newfoundland-Labrador regions. Trudy VNIRO 57: 453–483. (Fish. Res. Board Can. Trans. No. 2591)

NEWCOMBE, C. L. 1936. A comparative study of the abundance and rate of growth of *Mya arenaria* L. in the Gulf of St. Lawrence and Bay of Fundy regions. Ecology 17: 418–428.

PEER, D. L. 1963. A preliminary study of the composition of benthic communities in the Gulf of St. Lawrence. Fish. Res. Board Can. MS Rep. Ser. 145: 24 p.

1970. Relation between biomass, productivity and loss to predators in a population of a marine benthic polychaete *Pectinaria hypoborea*. J. Fish. Res. Board Can. 27: 2143–2153.

QUAYLE, D. B. 1969. Pacific oyster culture in British Columbia. Bull. Fish. Res. Board Can. 169: 192 p.

1971. Pacific oyster raft culture in British Columbia. Bull. Fish. Res. Board Can. 178: 34 p.

REGIER, H. A., P. L. BISHOP, AND D. S. RAPPORT. 1974. Planned transdisciplinary approaches: renewable resources and the natural environment, particularly fisheries. J. Fish. Res. Board Can. 31: 1683–1703.

SCARRATT, D. J. 1968. An artificial reef for lobsters (*Homarus americanus*). J. Fish. Res. Board Can. 25: 2683–2690.

STEPHENS, K., R. W. SHELDON, AND T. R. PARSONS. 1967. Seasonal variations in the availability of food for benthos in a coastal environment. Ecology 48: 852–855.

STEWART, J. E. 1974. Potential for culture of invertebrates in Canada. Bull. Fish. Res. Board Can. 188: Sect. II: 36–52.

THOMAS, M. L. H. 1970. Studies on the benthos of Bideford River, Prince Edward Island. Ph.D. Thesis. Dalhousie Univ., Halifax, N.S. 302 p.

TYLER, A. V. 1968. Food resource division in a community of marine fishes. Ph.D. Thesis. Univ. Toronto, Toronto, Ont.

1971. Surges of winter flounder (*Pseudopleuronectes americanus*) into the intertidal zone. J. Fish. Res. Board Can. 28: 1727–1732.

WESTHOFF, V., AND E. VAN DER MAAREL. 1973. 617–726. *In* R. H. Whittaker. [ed.] Part V, Handbook of Vegetation Science, Ordination and Classification. Junk, The Hague.

WHITEAVES, J. F. 1887. On some marine invertebrates dredged or otherwise collected by Dr. G. M. Dawson in 1885, in the northern part of the Strait of Georgia, in Discovery Passage, Johnstone Strait, and Queen Charlotte and Quatsino Sounds, British Columbia; with a supplementary list of a few land and freshwater shells, fishes, birds, etc., from the same region. Trans. Roy. Soc. Can. for 1886. Vol. 4, Sect. 4: 111–134.

1901. Catalogue of the marine invertebrata of eastern Canada. Geol. Surv. Can. 772: 271 p.

ZENKEVITCH, L. A. 1963. Biology of the Seas of the U.S.S.R. (Transl. by S. Botcharskaya). George Allen and Unwin Ltd., London. 955 p.

APPENDIX II

Biological Oceanography in Canadian Arctic and Subarctic Waters

M. J. DUNBAR
Marine Science Centre, McGill University, Montreal, Que.

Historical Introduction

The history of biological oceanography in Canadian arctic and subarctic sea waters may be said to have begun either with the voyage of the "Burleigh" in 1914, sent out by the Department of the Naval Service to make fisheries investigations in Hudson and James Bays; or perhaps with the pioneer studies of Fritz Johansen in Hudson Bay in 1920. These early histories need not be covered here, except to mention two important expeditions, that of the *Arleux* and *Prince* in the Strait of Belle Isle in 1923 (Dr A. G. Huntsman in charge), and the *Loubyrne* Fisheries Expedition in Hudson Bay in 1930. The latter study established that Hudson Bay would not support commercial fisheries, a fact that many later would-be developers have found hard to accept.

The Eastern Arctic Investigations of the Fisheries Research Board opened operations in 1947 in Ungava Bay, when my graduate student, Henry Hildebrand, and I worked for some 3 mo with a small trap-boat as a "research platform." The objectives, planned indefinitely into the future, were (1) the general investigation of the biological oceanography of the Eastern Arctic, and (2) the search for renewable resources that might be developed in the interests of the native population. Such wide terms of reference clearly demanded a sea-going vessel, and by August 1948 the *Calanus*, 50-ft diesel ketch, was launched in Mahone Bay and sailed to Fort Chimo. She is still in use in the Eastern Arctic.

The term "biological oceanography" has been interpreted broadly and defined in the main part of this report, to include not only the plankton production cycle, but also tertiary levels (fish, mammals), environmental conditions, and ecological stability. However, in the arctic many biological studies deal only with single species, especially mammals, and little advancement has been made in what is normally termed "biological oceanography." Nor could large advances be expected, given the extreme smallness of the staff of the Arctic Unit (now the Arctic Biological Station) and the fact that we were entering an almost virgin field of study. Perhaps the most surprised and delighted of observers of our new interest in the arctic were the Danes, whose very considerable marine work in west Greenland no longer met a blank wall of ignorance in mid Baffin Bay to the west.

Some effort was spent in the early years in experimental fishing by long-line and beam trawl, with fairly predictable negative results as far as commercial possibilities were concerned, and in basic faunistic and systematic work to establish the nature and richness of the fauna. Emphasis was placed on animals rather than plants. Thus during the first years of work the publication list, which grew fairly rapidly, included work on fishes (of Ungava Bay), fish larvae, polychaetes, amphipods, cirripedes, copepods, echinoderms, and decapod crustacea; also an account of the phytoplankton and a study of the (then) topical question of the status of *Calanus glacialis*. Emphasis at this stage was on abundance and distribution. There followed papers on biological or ecological topics, such as breeding cycles, growth rates, and population dynamics, of dominant organisms in the system and of those of most practical importance to the Inuit; these included Arctic char, ringed seal, bearded seal, blue mussel, *Sagitta elegans*, *Parathemisto libellula*, and zooplankton in general. More attention began to be paid to the benthos, which had been collected since the start of the operation but which had been largely set aside as far as interpretation of the results and publication were concerned, to give precedence of the plankton and the mammals.

The winter regime was perforce neglected during the first years of work, largely because of the expensive logistics involved. The first year-round series of observation was carried out by Grainger in Foxe Basin, 1955–56, and Mansfield did work in northern Hudson Bay in winter in 1955, mainly on the mammals. The need for winter work was always apparent, and much has been done since that time. The Foxe Basin study produced a wealth of new information upon which much has been built; the findings are published in two papers by Grainger (1959) and by Bursa (1961). These two papers in fact set the opening scene for "in depth" biological oceanography in the Canadian Arctic, and are sufficiently important to quote here at length. The abstracts from them, and certain of the key figures, are reproduced below:

> "Phytoplankton populations near Igloolik, northern Foxe Basin, began to increase in late April, and reached their climax in mid-August. The rapid late-August decline of the phytoplankton populations coincided with diminishing light. Diatoms were the main biomass producers in Igloolik and the principal food for the marine fauna. The succession of spring Pennatae and summer Centriceae apparently was caused by light and ice conditions: Taxonomic composition of the Igloolik phytoplankton was influenced by the fast ice and by the shallowness and hydrographic uniformity of the adacent areas. Descriptions are given of two new species of dinoflagellates, *Gyrodinium articum* and *Gymnodinium intercalaris*, and the new coccolinthine flagellate *Pontosphaera ditrematolitha*." (Bursa 1961)

"Materials used were collected September 1955 to September 1956 near Igloolik, northwest Foxe Basin, in the Canadian arctic. A single station, about one mile from shore and 52 m. deep, was occupied 27 times during the year. It is in a region of net flow of arctic water from Fury and Hecla Strait, whose strong current probably brings ever-changing hydrographic conditions and plankton populations to the station area. Sea ice formed in early November, and had thickened to about 152 cm. by early May. Melting then began and continued until the station was free of fast ice soon after mid-July. Water temperatures varied only 3.55°C at all depths during the year, and only 0.07° from November until May. The coldest record was −1.75° at 50 m. in April and May, the warmest 1.80° at the surface in early September. Salinities varied from a maximum of 32.59‰ in early May to less than 1.68‰ at the surface in mid-July. A thin layer of brackish water, probably not exceeding 2 m. in depth, was developed at the surface during the ice-melting period from late June until early August. Dissolved oxygen content varied from 9.52 ml/l in early July to 4.08 ml/l in early September. The maximum saturation recorded was 110.3% at 10 m. on July 15. Dissolved inorganic phosphate rose from near zero in February to a maximum of 1.5 μg-at/l in mid-June, then declined until autumn.

"Zooplankton volume (from the coarse net) was greatest in late September (4.85 ml per 50-m. haul), least in mid-April (0.15 ml). Among identifiable material, copepods were volumetrically the largest group. Twenty-eight species were identified, the most numerous forms being copepods (*Pseudocalanus minutus, Calanus finmarchicus, C. hyperboreus, Oithona similis*), chaetognaths (*Sagitta elegans*), cirriped larvae, medusae (*Halitholus cirratus*) and larvaceans (*Fritillaria borealis*). Several of the more abundant species provide life-history information. All the plankton species had previously been collected in the arctic, and all are circumpolar (one possible exception).

"Propagation times of primarily herbivorous plankters coincide with the abundance of their phytoplankton food, and the numerical cycle of these individuals during the year shows a restrictive period of maximum numbers during the time of reproduction (summer) followed by gradual decline until late winter. In contrast, the primarily carnivorous plankters show relatively slight numerical variation throughout the year, many of them during winter. A rough estimate of the Igloolik yearly mean standing crop of zooplankton (without correction for straining efficiency of the No. 6xxx net) is 0.10 ml/m³ or 5.2 ml/m² of surface area; the maximum observed was 0.50 ml/m³. Another arctic coastal locality, in Greenland, had similar figures; coastal boreal stations have mean crops 4 to 8 times as great (surface area basis." (Grainger 1959)

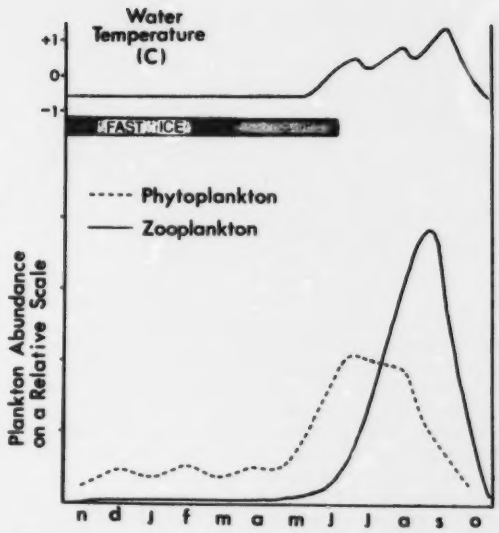


FIG. 13. Seasonal changes in water temperature and plankton abundance at Foxe Basin. Adapted from Grainger (1959) and Bursa (1961).

The extreme annual oscillation in standing crop of arctic phytoplankton and zooplankton is shown in Fig. 13. The data also illustrate the very late seasonal development of plankton blooms and the lack of a second (autumn) peak of production, characteristic of temperate regions. From the references cited, there are indications of a minor increase in phytoplankton in February–April, possibly connected with the behavior of the ice biota which needs further investigation. There is also a curious appearance of dinoflagellates in December. A point of additional interest is the reluctance with which phosphate is regenerated (Grainger 1959). Phosphate does not rise above the low winter level until June, suggesting that the bacteria responsible for regeneration are not adapted to the very low temperatures, that is to say, they do not regulate their metabolism in strict proportion to a change in temperature. This conflicts somewhat with later evidence produced by Grainger during winter work in Frobisher Bay, that showed a much more rapid phosphate production (IBP results, in press).

Because of the very large year-to-year variations typical of Arctic systems, there is a need for year-round work of the type described above covering a minimum 3 yr. The 1969–70 field work in Frobisher Bay, for example, showed that the total primary production can be doubled in years of high spring temperatures and early breakup, as compared to later and colder years.

Biological oceanography requires full environmental coverage, including physical oceanography. Throughout the work of the FRB Arctic Unit, physical oceanographic observations have been made by the biologists involved, a fact which has not been without advantage, because the biologists know better what they want than the physicists do. For example,

studies by biologists have made possible a significant differentiation between "arctic" and "subarctic" marine zones, based partly on physical characteristics but more so on measurements of productivity and the distribution of organisms. The definitions are simple in essence, the arctic zone being those marine areas in which the upper 200–300 m of water are of purely Arctic Ocean origin; the subarctic being those areas covered by mixed water of arctic and nonarctic origin. The pattern of zonation is shown in Fig. 14. The main results in physical oceanographic work by the FRB Arctic group in the Eastern Arctic, 1949–55, were published by Dunbar (1968) and are largely descriptive in nature. Matters of interest include the probable nonappearance in Hudson Bay of water of Atlantic origin, and the prevalence of density inversions in areas of high tidal activity at certain times in the tidal cycle. Additional physical oceanographical expeditions from other laboratories have covered the northern Canadian waters on a large scale; the absence of smaller scale work, necessary for the biologists, is discussed below.

The essential water-mass difference between the marine arctic and marine subarctic has made possible a fairly straightforward system of *plankton indicators*, a system that first appeared in the Canadian context in the work of Nancy Frost at the Newfoundland Research Station in the 1930s, using in particular species of *Ceratium*. Medusae are also useful, for instance *Hybocodon prolifer*, as in indicator of Atlantic water, and the crustacea, *Parathemisto libellula*, *Pseudolibrotus glacialis* and *nanseni*, and *Calanus glacialis* as indicators of arctic water. There are many other examples.

An interesting development in the past 15 yr has been the study of the *ice biota*, the diatoms and associated communities living within the lower layer of sea ice, also to a lesser extent immediately beneath the snow above the ice. Certain preliminary questions have been answered, but many more remain. The subject was recently reviewed by Rita Horner (unpublished MS, Proc. SCOR/SCAR Polar Oceans Conference 1974), and the annual cycle of nutrients and diatoms in sea ice at Frobisher Bay was described by Grainger (unpublished MS, and Proc. SCOR/SCAR Polar Oceans Conference 1974). The production is by no means insignificant. For example, the growth of diatoms in the upper, or snow layer in the antarctic has been estimated to amount to the equivalent of half a million tons of carbon per day for the whole of the Antarctic, and chlorophyll *a* concentrations of between 300 and 400 mg m^{-3} have been measured in both the antarctic and the arctic. These concentrations are many times higher than the concentrations found in the sea water below the ice in the phytoplankton bloom; however, it must be remembered that the ice diatoms are concentrated in a very narrow band in the ice. Chlorophyll concentrations per square meter give a better comparison; these are estimated as being of the order of 25 to 100 mg m^{-2}, which are comparable to phytoplankton standing crops in the Arctic Ocean. The growth in the lower layer of the ice has been found to be somewhat greater, although the literature is a little confusing. There is in fact little point in repeating here what has

FIG. 14. The approximate limits of the arctic, subarctic (land, hatched; sea, stippled), and northern part of the boreal zones (from Dunbar 1968).

so recently been reviewed elsewhere. It is clear, however, that this biomass produced within the ice forms an important fraction of the total production in the Arctic Ocean and that it helps greatly to prolong the productive season beyond that of the water-borne phytoplankton. It also has relevance in the evolutionary context, both because of the extension of the food production for secondary producers over a longer season, and because it provides an example of a tight, almost two-dimensional concentration of production in an otherwise very unproductive region. In this respect the ice biota might be compared with coral reefs and turtle grass (*Thalassia*) beds in the tropics, which also constitute regions of very high local production in surroundings of low productivity. All three systems appear to conserve and retain their resources within close spatial limits, jealously guarding them against escape to the outside. As such they qualify as "mature systems," in modern ecological theory. The possibility that the in-ice system in polar regions may be the most mature is interesting, and calls for a great deal more investigation. Certainly this system must entrap nutrients as they leach downwards in the normal winter process, along with other salts contained in the ice during the process of freezing. Very possibly part of the nutrient supply is regenerated within the ice itself. The concentrations of phosphate measured in ice can be extraordinarily high, over 8 μg-at/liter in Frobisher Bay and over 6 μg-at/liter in the Gulf of St. Lawrence,

Not all the work in northern biological oceanography under Canadian auspices has been done by the Fisheries Research Board. Much of it has come out of McGill University. Hansen (Hansen et al. 1971) spent many months on the ice island T-3 working on scattering layers in the Beaufort Sea. He found two scattering layers, one at 50 m caused by pteropod

molluscs, and one deeper but very variable in depth, caused probably by polar cod. Bulleid (ibid) has contributed to the systematics and origins of the copepod plankton of the Arctic Ocean, and Harding (Dunbar and Harding 1968), working also on T-3, examined the vertical distribution of the Arctic Ocean macroplankton, a study that developed into somewhat of a reinterpretation of the classic (Nansen) view of the water structure and water masses of that ocean. Steele, at Memorial University of Newfoundland, has made most useful contributions to our knowledge of amphipod systematics and distribution in the north (e.g. Steele 1972). McLaren (1967a, b) made a thorough investigation of a very special ecosystem in the raised-beach salt water Lake Ogac on the shore of Frobisher Bay, with its specialized warmwater fauna and relict community. Finally Dunbar, in a series of papers (e.g. Dunbar 1968), has offered both empirical and theoretical additions to the study of polar ecosystems, their evolution and maintenance.

Present Situation and Programs

The establishment of Arctic marine research by the Fisheries Research Board after the second world war was a response to an urgent need — the Canadian north had been grossly neglected scientifically, with the result that we stood a long way behind our fellow Arctic landlords (especially Scandinavia at that time) and were in no position to handle with intelligence the imminent commercial and social development, let alone the military development that had already begun. The achievements of the Arctic Biological Station, from its beginnings at McGill University to its present development at Ste. Anne de Bellevue, have been most impressive, especially in view of the small staff and quite limited facilities. Starting with the basic requirement of establishing a groundwork of basic faunistic and productivity information and the exploration of biological resources in general, the program has evolved from field work and field collection through increasing elaboration to experimental laboratory work and ecosystem studies. These latter investigations began in Frobisher Bay and continued in the western arctic in the Eskimo Lakes region, in response to the diversion of most of the FRB arctic work from the east to the west to meet the immediate challenge of gas and oil exploration. Physiological work in the laboratory has begun on metabolic rates and metabolic adaptation, and also microbiological work, including bacteriology. However, metabolic studies on cold-adapted organisms including bacteria are not well developed anywhere in the world, and special techniques have to be employed. There is now an increased emphasis in these programs. The logistics of such programs require the shipping of live material from the north to the south, with a consequent demand for holding facilities both in the field and in the laboratory, all of which is expensive.

Much emphasis has been placed, necessarily, on the marine mammals, because they are of prime importance to the native population. It may fairly be said that the seals and walrus are now safe from overexploitation and that a great deal of knowledge has been accumulated about them. However, there remains work to be done on the walrus and the bearded seal and on the whales. The fish populations are also beginning to be understood, and systematic and biological work on the zooplankton is well advanced. Much remains to be done on primary production, the measurement of secondary production and on the benthos.

Future Development

Basic Science

Physical Oceanography — There is a great need for physical oceanographic work in the north, both for its own sake and with respect to weather, climate, and the biological resources. In the context of the present report, the biological work has always been handicapped by lack of adequate parallel work on the marine environment. There have been summer expeditions to Hudson Bay, Hudson Strait, Baffin Bay and the waters of the Archipelago, and to the Beaufort Sea, which have given us a very general basic understanding of the movement and nature of those waters, but detail is sorely lacking, and it is detail that the biologists need. So far all of the smaller scale physical and chemical work in fjords and the narrower waters has been done by biologists, and the time has come when professional physicists are badly needed to make up adequate teams. For instance the study of estuarine circulations, tides, internal waves, upwelling, is the property of physicists, and has now become so complex and with such sophisticated instruments and methods, that professionals are essential. The usual reply of physical oceanographers to urgings to do some detailed work in the north is "Why? What are the problems to be solved?" From the point of view of the physicist, this is no doubt a legitimate reaction, but the biologist needs a detailed description of the environment in four dimensions. It may be that such an apparently humdrum requirement would not attract the best physical oceanographers, but the need is real, and could be satisfied either by the appointment of one or two physical oceanographers to the staff of the FRB Arctic Biological Station or by adequate collaboration between that station, the Bedford Institute, the Canadian Centre for Inland Waters or with university personnel.

The investigation of the physical regime in winter is particularly important to the understanding of the productivity of northern waters. We have as yet almost no information on the density structure of the water column beneath the ice in the Arctic Archipelago, and very little from elsewhere, and yet the vertical structure affects vitally the return of nutrients to the surface. There are certain key regions in which we need a great deal of physical and chemical study, winter and summer; such as the northeast part of Hudson Bay, in which the exchange between Hudson Bay, Foxe Basin, and Hudson Strait is little understood; Lancaster Sound, which is suspected to be fairly highly productive on the evidence of the density of mammal populations; Richmond Gulf and

James Bay, both of which will be affected by the hydroelectric development going on at present; the North Water, perhaps the most interesting and significant region of all; and the Beaufort Sea.

Special attention should also be paid to the physical microstructure of the water column in the north, as elsewhere. This is likely to elucidate several puzzling features of biological production. It is known, for instance, that stepped, rather than continuous, density profiles may be the rule in all oceans, but little has been done on this phenomenon in the north. Owing to the existence of this layered structure (in layers probably as shallow as less than one meter) the sampling of the smaller planktonic organisms is inadequate. A knowledge of the details of this structure, therefore, is important. Incidentally, the existence of trophically rich microlayers means that we have to use new methods of sampling, or rather different from the usual net methods, such as the plankton pump, the Longhurst–Hardy Plankton Recorder, and perhaps the Boyd Plankton Counter.

Climatic change — Climatic changes experienced during the past sixty years have been most impressive and of great economic consequence. The help of the physical oceanographers is needed to monitor these changes which are a matter of vital importance to the biological production of the north. Climatic change clearly has the widest amplitude in the higher latitudes, at least in the time-scale of recent, and potentially predictable, changes. Although the change has been most pronounced outside Canadian waters, especially in West Greenland and in Spitzbergen, there have been measurable fluctuations also in the Canadian Arctic and Subarctic, especially in Ungava Bay and on the Labrador coast. Quite apart from the importance of the change of climate to the Canadian waters themselves, the monitoring of temperatures and salinities on a routine annual basis at certain key points in the Canadian north would have considerable significance in following, and possibly predicting, marine climatic change elsewhere. Thus the effort would be part of our international contribution as well as in our own interest. It is pointed out below, for instance, that the presence of the Atlantic salmon in these present years in the Davis Strait area is almost certainly the result of changes in the cold and warm currents and their relative strengths. The key points to be monitored are Hudson Strait, the Canadian Current down the east coast of Baffin Island, Ungava Bay, and the Labrador Current.

Long-term localized ecosystem study — An outstanding feature of high latitudes is year-to-year variation, somewhat analogous to sensitivity to climatic change over greater time amplitudes. The variations are manifested at the time of the onset of the spring bloom, annual standing crops, ice thickness and extent of ice cover, timing of freeze-up and spring ice decay, air and water temperature, cloud cover, and so on, all of which are interrelated in one way or another. To follow these variations properly, and to understand the mechanisms of the ecosystem, it is necessary to maintain prolonged measurement of the relevant variables over several years, winter and summer. Work of this kind has been begun by FRB Arctic Unit in Frobisher Bay in the east and in the Eskimo Lakes in the western arctic. Unfortunately, the Frobisher Bay operation was abandoned in mid-flight owing to a Departmental directive to move the center of operations to the west. Such studies should be carried out at other representative points in the north, such as the Belcher Islands–Richmond Gulf region in eastern Hudson Bay and a high arctic station in the Archipelago, such as Nansen Sound. The first year-round study of this sort in Canadian waters was that carried out by Grainger in Foxe Basin; multi-year coverage is the logical next step. With properly equipped field laboratories, or by frequent visits by air throughout the year (as was done at Frobisher Bay), a very wide spectrum of work could be accomplished in this way, including the proper measurement of primary and secondary production, physiological and metabolic work, and bacteriology; also the full survey of events in the benthonic zone and in the ice biota, all of which are mentioned briefly below.

Animal and plant physiology — Physiological work on arctic marine organisms is just beginning at the FMS Ste. Anne de Bellevue Station, now that a physiologist has at last been added to the staff. There is much ground to make up in this field, for we have fallen far behind other countries in the study of metabolic and growth rates of invertebrates and fishes, the physiology and heat balance of sea mammals in the north, and in general and particular adaptation of animals and plants to the polar climate. This became almost painfully apparent at the recent SCOR/SCAR Polar Oceans Conference in Montreal in May 1974; physiological and metabolic studies came from the Antarctic and from Point Barrow, Alaska, not from Arctic Canada.

Microbiology — The microbial part of the biological cycle in polar waters has been little studied, except for some work on the microphytoplankton. Partly owing to the stimulus of oil exploration, work has now begun during the past three years in several Canadian stations, including the Arctic Biological Station, the Halifax Technological Station and the Freshwater Institute at Winnipeg. The metabolic and temperature requirements of oil-degrading bacteria are being investigated, and field experiments have been conducted. It is to be hoped that this will lead to a wider spectrum of microbiological research in Arctic waters, to include the normal production cycle. At the moment, to mention only one point, there appears to be conflicting evidence on the question of whether the nutrient-producers do or do not regulate their metabolism with respect to temperature, when compared with temperate forms. This is an important point to settle once and for all.

Dissolved and particulate matter — Organic dissolved and particulate matter in the sea is closely related to marine bacteria, and here too we have a most conspicuous gap in our knowledge of the northern seas. One paper, on starch in the Canadian Arctic waters and elsewhere (Bursa 1968), was published in 1968,

but the whole field of nonliving organic matter has otherwise hardly been touched at all. Without a knowledge of the concentrations and residence times of this material, coupled with the bacterial part of the cycle, our understanding of the ecosystems as a whole must be said to be in the toddling stage. There is some evidence that concentrations of dissolved matter, as "leptopel," and of matter occluded to ice surfaces, as "peloglaea," may be high in Arctic regions, and that they play an important part in maintaining, among other things, the ice-associated communities.

Very little work, if any, has been done on inorganic suspended matter in the Arctic, or on sedimentation processes in general. With the prospect of increased oil prospecting and development, and the possibility of the building of harbors of the "superport" size, flocculation and sedimentation become highly practical matters. They are also of great interest in the study of microplankton, which no doubt must play some part in the flocculation process. Work in this field could very easily be combined with the study of estuarine and river-inflow conditions mentioned above under physical oceanography.

Benthos — On the whole the benthos has been neglected to the advantage of the plankton, which is perhaps understandable in the early stages of investigation. Much of the work to be done is at the purely faunistic level, a matter of filling out the distribution maps; but the quantitative study of the benthos is also important, particularly in view of the importance of the benthos in the total production, shown by the results of some of the IBP work of recent years. This includes the study of the attached algae in the north, the standing crops of which are not known.

Ice biota — So far, with the exception of the study by Grainger at Frobisher Bay and a few stations made by McGill workers in the Resolute area and in Hudson Bay, most of the work on this phenomenon has been done at Point Barrow, Alaska, by United States and Japanese workers, in the Soviet Arctic by Russians, and in the Antarctic. Certainly it is important at this stage to collect data on growth rates and standing crops, and seasonality, from as many stations as possible, so that we are somewhat obligated to fill in the blank spaces in the Canadian sector. There is very little information as yet on the extent to which the ice-grown diatoms contribute to, or stimulate, the spring phytoplankton bloom, or whether the two are connected at all. There is conflicting evidence on the normal constitution of the diatom concentrations, in terms of the dominance of pennate or centric forms, planktonic or benthonic; and many other intriguing problems.

Scattering layers and vertical migration — The very existence of significant vertical diurnal migration of zooplankton in the height of the Arctic summer is still a controversial issue, and has been since the start of the study of the phenomenon in the late 19th century. I am not aware of a single publication on diurnal migration in the Canadian Arctic, although a small amount of unpublished work has been done in the field. There has in fact been surprisingly little study of this matter anywhere in the polar seas, north or south. It is of particular interest in view of the seasonal light pattern in high latitudes as well as being of practical importance in the feeding and behavior of fish and sea mammals. Scattering layers have been given just as little attention, so far as the published literature show. The only North American work so far published was done by Hansen on the ice island T-3, under the auspices of McGill University and the U.S. Office of Naval Research, on a layer first discovered by Hunkins, of the Lamont Observatory, N.Y., while engaged on other work. Two scattering layers have in fact been found in the Beaufort Sea, one at about 50 m, caused by pteropod molluscs, and one varying between 20 and 180 m, probably caused by polar cod. This also is a neglected subject, of both theoretical and practical importance.

Arctic ocean ecology — Canada is not playing its proper part in biological studies in the Arctic Ocean. Two McGill University parties have worked on the ice island T-3, supported by the U.S. Office of Naval Research, and there has been some biological work done within the scope of the Polar Continental Shelf Program. There are most interesting problems to be solved in the Arctic Ocean, particularly in the distribution and origins of the plankton, as well as in the obtaining and interpretation of sediment cores. The study of past climates using the Arctic Ocean floor is in its infancy, and we should be getting into that most interesting field.

Ice effects in the littoral zone — Very little has been done on the subject of winter hardiness of arctic littoral species, or on their summer-to-winter behavior. We have little detailed information about the transition from the subarctic to the high arctic condition, or of the gradient of seashore populations with latitude and high arctic conditions.

Evolution of arctic marine faunas and ecosystems — Perhaps this may appear to be too "academic" a matter for inclusion in the present report, but I believe that in many aspects such studies are in fact practical, making for better understanding of present distributions, systems, etc., and should be included in any program of northern biological oceanography that has claims to completeness. Studies should be made, for instance, on the degree of polymorphism in arctic faunas as compared with lower latitudes, and in processes of speciation.

Fisheries

All of the basic research described above applies to fisheries, or has possible practical application to fishery development. In the case of Arctic water, however, it has been fairly satisfactorily established that exploitable commercial fishery resources of any practical size do not exist, and that fish as a group are not successful in arctic water. This includes Hudson Bay. In the subarctic fringes, such as southern Beaufort Sea and Ungava Bay, there are small possibilities involving Atlantic cod (Ungava Bay), and saffron cod, Pacific herring and starry flounders

(Beaufort Sea), but both regions are exploitable only in terms of local subsistence or auxiliary resources. The Labrador coast is another matter; the Labrador fishery is of long standing and latterly disappointing, and it is certainly in need of research along basic lines.

The Atlantic salmon in West Greenland waters also fall beyond the terms of reference of this paper, except perhaps with respect to the need for close monitoring of our subarctic marine areas for changes in, and the possibility of prediction of, the subsurface marine climate. This is relevant also to the fishery resources of the Labrador coast. It is difficult to escape the conclusion that the presence of the salmon in West Greenland is only temporary, the result of a response to climatic change that is not at all understood, and that therefore research into the changes themselves, and into the signals used by the salmon in their migration, would be an excellent investment.

Marine Mammals

Very little needs to be said on the sea mammals. The ecological work done on the Pinnipedia has been first-class and in adequate quantity. Very much less is known about the whales, but plans are in hand to make the investigation of the beluga, the narwhal, and the larger whales in the north as thorough as it has been on the seals and walrus. We still, however, lack a sound knowledge of the migrations of the walrus, mainly because of the great practical difficulties involved in tagging or marking them satisfactorily; and the physiology, as opposed to the ecology, of the sea mammals as a whole has been neglected in northern Canada.

Pollution and Other Environmental Hazards

In impact studies, to meet the threat of pollution of any kind, it is not possible to separate biological work from physical oceanography, except as it concerns the direct toxic effects on individual organisms. The transport of pollutants and the transport of the smaller organisms are both dependent on the water movement. If it is proposed to discharge tailings at depth in sea water (as is a possible development in Strathcona Sound in northwest Baffin Island), the living populations that the discharge will affect will depend on the manner in which the tailings are carried by the local and prevailing currents. It is vitally important, therefore, that in all such impact studies the proposals be carefully scrutinized by oceanographers, physical as well as biological. One of the very real hazards of the present "Make or Buy" policies of government is that if this kind of "research" is bought it may turn out to be a very poor investment, a *pro forma* compilation of more or less useless and uninterpreted numbers on many sheets of paper.

The main thrust of pipelining plans at present concern gas, and therefore it is important to find out the effects of the gas (principally methane) on marine organisms of all sorts. It is as well also to be prepared for oil, and it is recorded above that studies of oil-degrading bacteria have begun. It is frequently stated in the public press and in more specialized papers that the biodegradation of oil in the low temperatures of Arctic sea water will be extremely slow. This is not yet known; in fact the key question is whether or not the bacteria concerned regulate their metabolism with respect to temperature, which is a very common phenomenon among aquatic poikilotherms. If they do, and have evolved higher metabolic rates than extrapolation from temperate conditions would lead us to expect, then the process may proceed as rapidly in the Arctic as elsewhere. Apart from this matter of the low temperature, and the fact that the presence of ice will complicate the issue, the same steps to prevent and control oil spills must be taken in the Arctic as are developed for other regions. Work is going forward already on the behavior of oil in ice-covered waters.

International Considerations

It has been pointed out that in certain special aspects, above, Canada has not yet fulfilled what must be looked upon as an obligation to contribute equally with other countries to the growing body of knowledge of polar biological oceanography. Canadian ecological work on the marine mammals, especially the Pinnipedia, does indeed live up to this requirement, but in other fields, including physiological studies, microbiology, and the general and detailed ecological mechanisms, we are well behind the United States (arctic and antarctic), Scandinavia, the Soviet Union, and perhaps also the U.K. and Japan. Considering the great size of our arctic and subarctic property, this is not a position that can be maintained for long.

Establishment, Laboratories, Vessels

Considering the small size of the Arctic Biological Station at Ste. Anne de Bellevue, and its even smaller beginnings, it is astonishing how much has been achieved. To carry out the recommendations made here will probably involve a doubling of the establishment in a very few years, and it will certainly require (1) the building of at least one more permanent laboratory in the north, and (2) either the building or purchase of a larger vessel, as well as the maintenance of smaller vessels, or else the assured cooperation of other laboratories, such as the Atlantic Oceanographic Laboratory, and the seconding of an appropriate vessel to arctic work for some time to come.

It is a remarkable fact that, in spite of the importance of the North to Canada, and in spite of all the emphasis given in Parliament to both the North and to Oceanography, Canada has not yet built one single ship designed specifically for oceanographic research in the north, except the two small ships *Calanus* and *Salvelinus*. The *Labrador* does not qualify under this heading; she was built in the first place as a Naval vessel, not primarily for research, and she was later relegated to an icebreaker service with the Ministry of Transport. And for all the valiant work of the *Calanus* (and appropriate as she is for detailed work in fjords and other narrow

waters) she cannot be said to be the answer to our oceanographic needs in the north. The *Hudson* is not a fully Arctic ship, although somewhat ice-strengthened. There is a need for a FMS Arctic research vessel with first class ice capability, about the size of the *Dawson* designed specifically for oceanographic research, and attached to a group such as the Arctic Biological Station whose mission is strictly northern.

Of the present Arctic laboratories, only the Eskimo Lakes establishment which is set up in trailers and therefore temporary, belongs specifically to marine biological studies. Inuvik is not in an ideal situation for marine work (Herschel Island would be much better). The new Igloolik station, if sufficiently available to biological oceanographers, is well placed. Frobisher Bay, with its accessibility and its tradition already established in biological work is a necessary addition, for it is close to the Baffin Bay area as well as to Hudson Strait, both of them critical in studies on biological resources and climatic change. A scientific station of some size on the Labrador coast is something that should have been established many decades ago.

Appendix II — References

BURSA, A. S. 1961. The annual oceanographic cycle at Igloolik in the Canadian arctic II. The phytoplankton. J. Fish. Res. Board Can. 18: 563–615.

1968. Starch in the oceans. J. Fish. Res. Board Can. 25: 1269–1284.

DUNBAR, M. J. 1958. Physical oceanographic results of the "Calanus" expeditions in Ungava Bay, Frobisher Bay, Cumberland Sound, Hudson Strait and Northern Hudson Bay, 1949–1955. J. Fish. Res. Board Can. 15: 155–201.

1968. Ecological development in polar regions: A study in evolution. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.J. 119 p.

DUNBAR, M. J., AND G. HARDING. 1968. Arctic drifting stations: A report on activities supported by the Office of Naval Research. The Arctic Inst. North Am. Coord., J. E. Sater, 315–326.

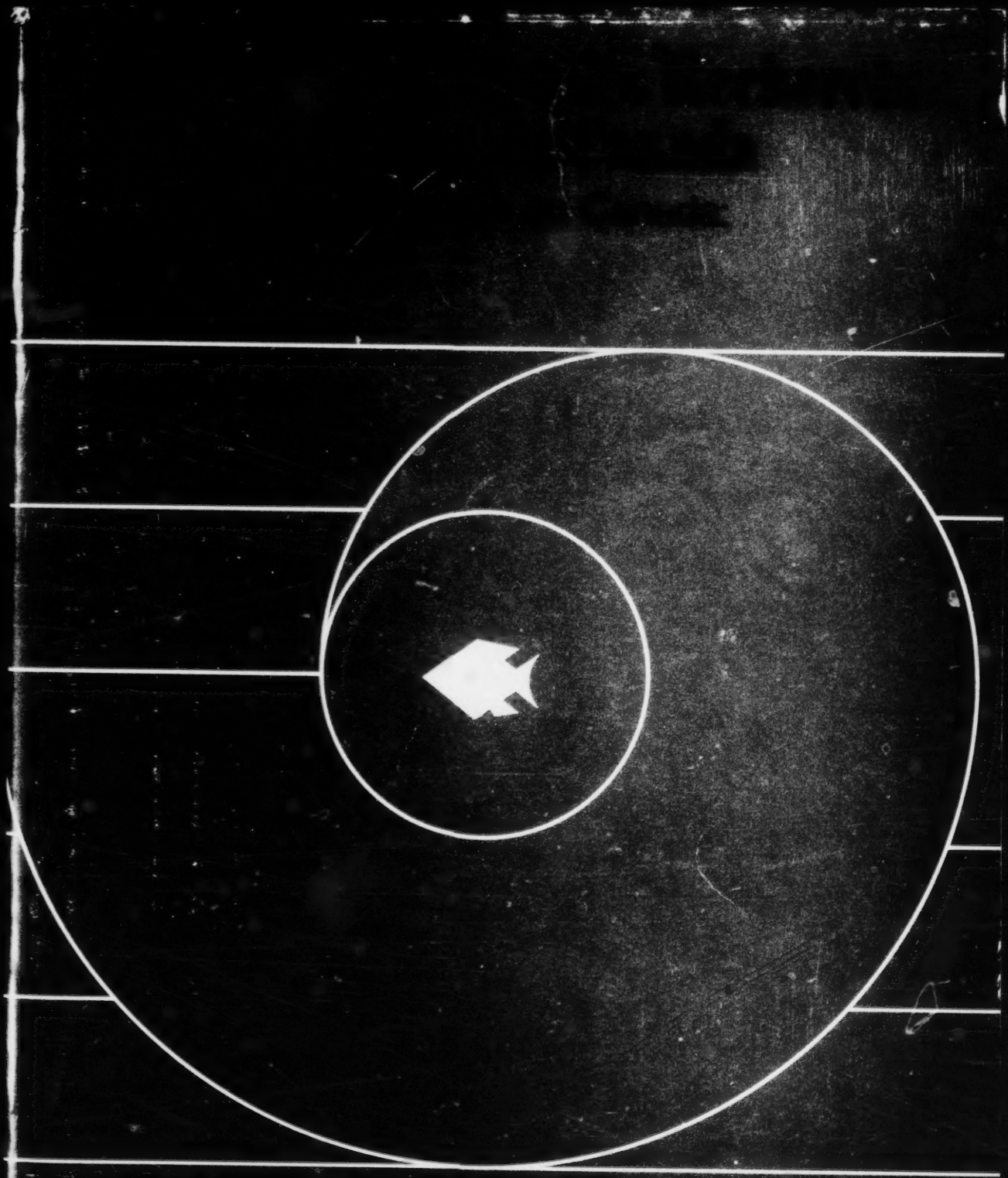
GRAINGER, E. H. 1959. The annual oceanographic cycle at Igloolik in the Canadian arctic I. The zooplankton and physical and chemical observations. J. Fish. Res. Board Can. 16: 453–501.

HANSEN, W., E. BULLEID, AND M. J. DUNBAR. 1971. Scattering layers, oxygen distribution and copepod plankton in the upper 300 meters of the Beaufort Sea. Mar. Sci. Cent. Manuscr. Rep. 20: 84 p.

MCLAREN, I. A. 1967a. Introduction to biological studies of Ogac Lake, a landlocked fiord on Baffin Island. J. Fish. Res. Board Can. 24: 975–980.

1967b. Physical and chemical characteristics of Ogac Lake, a landlocked fiord on Baffin Island. J. Fish. Res. Board Can. 24: 981–1015.

STEELE, D. H. 1972. Biology of *Gammarellus angulosus* (Crustacea, Amphipoda) in the northwestern Atlantic. J. Fish. Res. Board Can. 29: 1337–1340.



La série de Rapports de l'Office des recherches sur les pêcheries du Canada comprend des comptes rendus d'études et de symposiums et des rapports spéciaux.

Rapport n°1 – (The Way Ahead) Colloque marquant le 75e anniversaire de l'Office des recherches sur les pêcheries du Canada.

Rapport n°2 – L'Office des recherches sur les pêcheries du Canada – soixante-quinze années de réalisation. Par W.E. Ricker.

Rapport n°3 – Science pour les pêches canadiennes dans les mers du plateau continental. Par H.A. Regier et F.D. McCracken.

Publié par

Environnement Canada
Service des pêches et des sciences de la mer

Bureau du Rédacteur
116 Lisgar, Ottawa K1A 0H3

Published by

Environment Canada
Fisheries and Marine Service

Office of the Editor

Versatel Corporate Services Limited
Contrat KF708-5-0561
No. de cat.: Fs 97-10/4

RAPPORT DE L'ORP

Océanographie biologique au Canada: Perspective et revue[1,2]

R. T. PARSONS

Institut d'océanographie, Université de la Colombie-Britannique, Vancouver, C.-B.

Table des matières

RÉSUMÉ/ABSTRACT 2

1. INTRODUCTION 2
2. OCÉANOGRAPHIE BIOLOGIQUE: QUELQUES OBJECTIFS DU DÉBUT ET DÉVELOPPEMENTS SUBSÉQUENTS 4
3. OCÉANOGRAPHIE BIOLOGIQUE AU CANADA 6
   - 3.1 Résumé des programmes de recherches courants
   - 3.2 Répartition des spécialistes en océanographie biologique et autres sciences de la mer
   - 3.3 L'enseignement de l'océanographie biologique (avec quelques exemples d'institutions en Amérique du Nord et en Europe)
   - 3.4 Facilités de recherches de grande envergure en océanographie biologique
   - 3.5 Organismes nationaux et internationaux intéressant les océanographes biologistes canadiens
4. INTERRELATIONS ENTRE L'OCÉANOGRAPHIE BIOLOGIQUE ET LES AUTRES SCIENCES DE LA MER 17
   - 4.1 Écosystèmes marins
   - 4.2 Océanographie biologique et océanographie physique
   - 4.3 Océanographie biologique et océanographie chimique
   - 4.4 Interrelations entre les océanographes biologistes
   - 4.5 Océanographie biologique et pêches
     - 4.5.1 Gestion des pêches
     - 4.5.2 Pêcheries potentielles
     - 4.5.3 Aquiculture
   - 4.6 Océanographie biologique et pollution de la mer
   - 4.7 Instrumentation, techniques et installations
5. PRÉVISIONS DES BESOINS CANADIENS AU DOMAINE DE L'OCÉANOGRAPHIE BIOLOGIQUE 28
   - 5.1 Programmes et institutions nationaux
   - 5.2 Formation et développement d'océanographes biologistes
   - 5.3 Instrumentation et installations
   - 5.4 Recherches sur la pollution
   - 5.5 Relations internationales
6. RECOMMANDATIONS 35
7. REMERCIEMENTS 36
8. GLOSSAIRE DE CERTAINS TERMES SCIENTIFIQUES UTILISÉES DANS LE TEXTE 36
9. LISTE DES ABRÉVIATIONS UTILISÉS DANS LE TEXTE 37
10. RÉFÉRENCES 37

ANNEXE I — Pronostics d'une océanographie biologique benthique canadienne **par B. T. Hargrave et C. D. Levings** 40

ANNEXE II — Océanographie biologique dans les eaux arctiques et sous-arctiques canadiennes **par M. J. Dunbar** 48

[1]Version française de « Perspectives », publié dans le *Journal de l'Office des recherches sur les pêcheries du Canada*, 1975, 32(11): 2231–2283.

[2]Le présent rapport a été préparé, sous contrat, à la demande de l'Office des recherches sur les pêcheries du Canada qui ne partage pas nécessairement le point de vue de l'auteur.

Résumé

PARSONS, T. R. 1975. Océanographie biologique au Canada: Perspective et revue. FRB Report No. 4: 1–56.

L'auteur fait l'historique de l'océanographie biologique et passe en revue ses développements, tant au Canada que dans d'autres pays. Il ressort de ce travail que l'océanographie biologique devrait être définie, en termes généraux, comme étant l'étude de la biologie des océans. Des domaines plus spécialisés, telles la planctonologie, l'écologie des pêches ou les études sur l'habitat benthique, devraient y être incorporées comme fondements biologiques plus solides à la compréhension des communautés océaniques.

L'auteur examine l'interaction entre l'océanographie biologique et les autres aspects des sciences de la mer en ce qui a trait à l'océanographie physique et chimique, aux pêches et à la pollution. Il fait des recommandations spécifiques quant au développement de l'océanographie biologique au Canada dans les domaines des programmes nationaux, de la formation, de l'instrumentation, des relations internationales et de l'interaction avec les autres sciences, le tout visant à solutionner les problèmes pratiques du milieu marin.

Abstract

PARSONS, T. R. 1975. Biological oceanography in Canada: A perspective and review. FRB Report No. 4: 1–56.

The history of biological oceanography is reviewed with respect to developments in Canada and other lands. From this history it is suggested that biological oceanography should be broadly defined as a study of the biology of the oceans. Narrower fields of specialization, such as planktonology, fisheries ecology, or studies on the benthic habitat, should be integrated to provide a better biological basis for understanding ocean communities.

The interaction between biological oceanography and other studies in marine science is reviewed with respect to physical and chemical oceanography, fisheries, and pollution. Specific recommendations with respect to the future development of biological oceanography in Canada are made in the areas of national programs, training, instrument development, international relations, and interactions with other sciences in relation to the solution of practical problems in the marine environment.

1. Introduction

Dans le présent rapport, le terme « océanographie biologique » signifie l'étude de la biologie des océans, y compris les communautés pélagiques et benthiques (fig. 1). Le sujet couvre l'étude des poissons comme partie de la biologie des mers, mais non comme espèces individuelles, comme c'est le cas pour les recherches sur la dynamique des populations halieutiques. L'accent, en océanographie biologique, a été mis sur la recherche orientée vers les communautés. Par conséquent, alors que la biologie marine peut inclure toutes les branches de la recherche biologique, l'océanographie biologique, telle que définie plus haut, ne couvre pas de sujets tels que la génétique, la pathologie ou des études de laboratoire sur la physiologie et la biochimie des organismes marins, en autant que ces sujets n'ont pas de relation avec l'environnement d'un organisme. De toute évidence, il est difficile d'appliquer rigidement à tous les types de recherches marines une définition de ce genre, et un chevauchement de plusieurs disciplines doit être encouragé plutôt qu'éliminé par des définitions. Pour plusieurs, la définition peut paraître trop large; une vue plus étroite de l'océanographie biologique n'incluerait que la communauté planctonique et excluerait le necton. Cependant, la dynamique des communautés biologiques ne peut être étudiée convenablement si l'on exclut l'influence des prédateurs; de plus, l'importance de la communauté planctonique par rapport à nos pêches commerciales nous a semblé un domaine exigeant une étude intensive afin d'élaborer de meilleures politiques de gestion. C'est pourquoi, tant pour servir la cause d'une bonne écologie que pour des raisons de convenance, il semble bon de considérer les principales espèces de poissons de mer comme partie du domaine de l'océanographie biologique.

Nous avons rédigé ce rapport dans un style qui, nous l'espérons, sera compris d'un vaste auditoire, y compris les administrateurs chargés de la planification des politiques et du financement de la science. Dans toute l'étude, nous avons considéré trois niveaux de science comme outils de base de l'océanographe biologiste. Ce sont l'observation, l'expérimentation et l'élaboration de modèles mathématiques. Chacun de ces niveaux peut conduire à des découvertes fondamentales, et nul ne peut opérer seul dans un contexte national sans les deux autres. On ne peut donc pas assigner de priorités au genre de recherches qu'un scientifique poursuit,

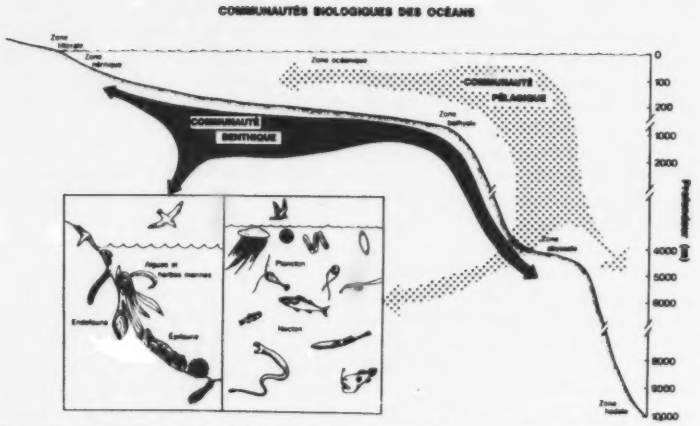


FIG. 1. Communautés biologiques des océans (extrait, avec modifications, de Hedgepeth 1957).

mais seulement dire qu'il y a parfois trop de scientifiques d'un genre par rapport au nombre de scientifiques d'un autre genre. Du reste, la plus importante qualité d'une organisation de recherches demeure la qualité de la direction, et le besoin d'une recherche en collaboration ne devrait jamais être interprété comme un besoin de recherche par comités.

Parmi les trois approches scientifiques mentionnées plus haut, les deux premières, observation et expérimentation, ne requièrent que peu de justification, car elles sont toujours examinées de façon critique, et chaque découverte originale doit être soumise à la vérification par les autres scientifiques. Il n'en est pas nécessairement de même pour l'élaboration de modèles. On a beaucoup parlé dernièrement de ce que l'on appelle l' « approche systémique » aux problèmes écologiques. Le mot système représente des choses différentes pour différents scientifiques; un simple système de gains et pertes d'oxygène peut être l'objet d'un modèle visant à solutionner le problème de la conservation de l'oxygène dans l'intérêt des pêches. Un modèle beaucoup plus complexe est celui qui tenterait de décrire un système naturel impliquant la croissance d'une variété d'organismes et les facteurs qui affectent leur survie. Dans les deux cas, cependant, le modèle ne vaut que ce que valent les données qui ont servi à sa construction. On ne peut prouver sa valeur, car le seul modèle véritable de la nature est la nature elle-même. Dans un domaine encore plus avancé, on tente présentement d'imputer à la nature des propriétés qui dépassent l'observation et nécessitent un nouveau vocabulaire dont les termes ne sont pas toujours définis de façon précise. Cette science transcendante est devenue populaire en écologie: elle a reçu si peu d'appui dans le passé que nos connaissances réelles dans ce domaine demeurent loin en arrière de celles des autres domaines. En fait, il est clair que partout où l'on a donné un support financier adéquat à certaines sciences biologiques, telles que la médecine et l'agriculture, ces sciences ont progressé sans faire appel à des modèles à composantes mythiques. Cependant, pour les bureaucrates de la planification, il est tentant de se décharger de la responsabilité des décisions sur un modèle mathématique, surtout un modèle d'une grande complexité. Tout en ayant leur utilité comme sous-composantes de la gestion, les modèles doivent être bien compris par l'usager (et non pas seulement par son créateur). Comme le souligne Riley (1963), un modèle simple peut suffire à simuler un évènement, et il n'est pas toujours nécessaire de faire appel à des modèles compliqués. C'est pourquoi, bien que nous soyons en faveur de l'usage de modèles pour l'analyse des problèmes de science aquatique, nous recommandons une extrême prudence dans l'adoption de tout modèle comme outil de gestion et, en particulier, de ces modèles qui ne définissent pas clairement les données, les relations et les interactions qui ont servi à les formuler.

Dans la seconde section de ce rapport, je présente un bref historique de l'océanographie biologique: il est en effet utile de comprendre la façon dont certains types de recherches biologiques dans les océans se sont développés à partir d'intérêts à la fois académiques et pratiques. Au début, les scientifiques engagés dans la recherche marine étaient si peu nombreux que les mêmes personnes étaient ordinairement impliquées et dans les problèmes pratiques et dans les problèmes académiques de la vie dans les océans. Cependant, avec l'augmentation du

nombre de scientifiques, il s'est produit une certaine division entre les groupes scientifiques; c'est cette division qu'il faudrait maintenant faire disparaître si l'on veut en arriver à un programme national efficace en océanographie biologique.

Dans la troisième section, j'ai analysé les activités canadiennes en océanographie biologique en termes de programmes nationaux, de formation, d'installations et de certains organismes nationaux et internationaux auxquels participent les scientifiques. Cette section résume le statut courant de l'océanographie biologique au Canada. En comparant les montants consacrés à l'océanographie biologique dans différentes institutions canadiennes, un seul point de repère a été choisi: les montants qui, à notre avis, représentent les salaires plus les dépenses d'opération. Les dépenses en immobilisations étant difficiles à identifier à cause du partage des coûts entre plusieurs institutions, nous les avons exclues des comparaisons entre institutions.

La quatrième section du rapport couvre les aspects scientifiques de l'océanographie biologique et ses relations avec les autres domaines, y compris la physique, la chimie, les pêches et la pollution.

La cinquième section précise les domaines de recherche océanographique où l'on devra apporter des améliorations et faire des travaux additionnels. Si l'on admet à la Section 3 que certaines opérations (e.g. celle des navires océanographiques) marchent assez bien, il n'est pas nécessaire d'insister davantage sur un point qui doit continuer de bien fonctionner.

Deux sections spéciales ont été ajoutées au rapport comme Annexes I et II. Ces sections couvrent les sujets particuliers des communautés benthiques (préparée par B. Hargrave et C. Levings) et des communautés arctiques (préparée par le professeur M. Dunbar). Je remercie ces auteurs d'avoir bien voulu contribuer à ce rapport en y apportant leurs connaissances dans ces deux domaines.

Finalement, sous la rubrique Recommandations, j'ai tenté de résumer les discussions des sections précédentes (y compris celles de communautés benthiques et arctiques) et de souligner ce qui pourrait être fait pour l'avenir de l'océanographie biologique. Ces recommandations sont mises de l'avant comme base à des discussions ultérieures. Elles ont un caractère contemporain et sont dictées par les évènements de notre époque.

2. Océanographie biologique: Quelques objectifs du début et développements subséquents

Le besoin d'en connaître davantage sur la biologie des océans commença à se faire sentir sérieusement vers le milieu du XIX^{e} siècle. La motivation pour la recherche scientifique eut deux sources différentes. D'abord, on poursuivait une polémique académique intense sur les formes de la vie dans les océans; ensuite, on avait de sérieuses inquiétudes, tant en Europe qu'en Amérique du Nord, au sujet de l'épuisement des stocks de poissons.

Au cours des discussions académiques sur la vie dans la mer, deux points suscitèrent un intérêt particulier. Le premier fut mis de l'avant par Edward Forbes en 1844, qui conclut qu'il ne pouvait y avoir de vie dans les océans au-delà de 300 brasses (Hedgepeth 1957). Le second a été soutenu en 1868 par T. H. Huxley qui croyait, à la suite de l'examen d'échantillons benthiques conservés, qu'il existait dans les océans une sorte de protoplasme originel quelconque. Il nomma cet « organisme » *Bathybius haeckelii* (Deacon 1971). Ces deux observations furent réfutées essentiellement par une personne, Wyville Thompson, biologiste principal et instigateur de la fameuse *Expédition du Challenger*, 1872–76.

La présence de vie à des profondeurs dépassant 300 brasses a été démontrée en 1868 au cours d'une croisière du H.M.S. *Lightning* au large de la côte d'Écosse. Ce fait, à lui seul, peut être considéré comme point de départ de discussions sur le besoin d'une expédition océanographique majeure. Les observations de Thomson affectèrent également la science de l'océanographie physique, car ses mesures des températures dans les profondeurs, prises en même temps, démontrèrent que la température ne demeurait pas constante à 4 C à toutes profondeurs dans des eaux dépassant 300 brasses, un fait accepté en océanographie physique à l'époque, mais qui devait être étudié davantage à bord du *Challenger*.

La seconde découverte relative à *Bathybius* a été faite par Thomson au cours de l'*Expédition du Challenger*, quand il démontra que cet « organisme » était en réalité un artifice du liquide préservatif utilisé et était simplement un précipité inorganique. Ces évènements peuvent en eux-mêmes ne pas paraître trop excitants aujourd'hui, mais il faut se rappeler qu'à l'époque de leur découverte, plusieurs scientifiques de renom étaient impliqués. De plus, c'est surtout à cause de leur intérêt et des efforts de la Société royale que la coopération du gouvernement, surtout celle de la Marine, a pu être assurée au début, sous forme de nombreuses expéditions océanographiques. Ces efforts atteignirent leur sommet académique avec l'*Expédition du Challenger* et avec tous les rapports et idées nouvelles qui resultèrent de cette expédition.

Dans une direction plutôt différente, mais presque à la même époque, plusieurs scientifiques tentèrent d'expliquer pourquoi les pêches en Europe et en Amérique du Nord étaient en voie de diminution. Cette inquiétude apparut à une époque où les prises mondiales annuelles totales de poisson (avant 1900) ne dépassaient pas beaucoup 5 millions de tonnes, alors qu'aujourd'hui, avec le même problème, elles dépassent 60 millions de tonnes par an. Cependant,

c'est au milieu du XIX^{e} siècle que l'homme commença à s'intéresser aux stocks de poissons. De cette préoccupation, et aussi de l'intérêt académique indiqué plus haut, naquit le besoin d'établir des organismes de pêche dans différents pays, ayant tous un objectif commun. On peut mentionner, entre autres, la Royal Commission to Investigate Fisheries Problems (1863), la Commission zur Wissenschaftlichen Untersuchungen der Deutschen Meere (1871), et la United States Commission of Fish and Fisheries (1873). L'inquiétude que ressentaient ces organismes nationaux et leur plan d'action ne peuvent être exprimés plus clairement que dans le premier rapport de la United States Commission:

> « Les buts de cette enquête, telle qu'autorisée par le Congrès, étaient, *premièrement*, d'établir les faits concernant la prétendue diminution des poissons comestibles; *deuxièmement*, si une telle diminution pouvait être prouvée, en trouver les causes; *troisièmement*, suggérer des méthodes de rétablissement des stocks; et, *quatrièmement*, élucider les problèmes associés aux caractères physiques des mers avoisinant les lieux de pêche, à l'histoire naturelle des habitants de ces eaux, vertébrés ou invertébrés, et de la vie végétale qui les entoure ».

Dans cet énoncé et dans d'autres qui ont été faits à la même époque, on voit que ce ne sont pas seulement les pêches qui étaient considérées comme importantes, mais aussi l'environnement des poissons, y compris l'habitat physique et biologique. Dans ce sens, les objectifs des organismes de pêche étaient semblables à ceux des océanographes académiques: connaître davantage les océans et les processus qui contrôlent l'abondance de la vie marine.

La formation d'organismes nationaux en pêcheries permit aux scientifiques de se réunir en vue de discuter un problème. Mais en même temps, on réalisa le besoin de stations biologiques où les scientifiques pourraient poursuivre des recherches sur les pêches. Ceci était en accord avec les désirs des chercheurs dans des domaines plus académiques. Comme résultat, on fonda un certain nombre de centres de recherches marines, dont plusieurs occupent encore le même site aujourd'hui. Ces centres sont, entre autres, la Stazione Zoologica de Naples (1873), le U.S. Fisheries Commission Laboratory à Woods Hole (1885), le Marine Biological Association Laboratory à Plymouth (1888) et un laboratoire maritime à Kiel (1870), fondé par la Commission prussienne.

Au Canada, un organisme distinctif à vocation scientifique se développa à l'intérieur du ministère de la Marine et des Pêcheries, avec la nomination, en 1892, du professeur E. E. Prince comme commissaire et inspecteur-général des pêches au Canada. Le professeur Prince venait du St. Andrews Marine Laboratory, en Écosse, et fut le principal responsable de la fondation de la première station biologique canadienne à St. Andrews, N.-B. (bien que, sous forme de laboratoire flottant, cette station ait été remorquée pendant quelques années à divers endroits de la côte atlantique). En établissant cette station, le professeur Prince était d'avis que le Canada était en retard sur les autres pays, étant, d'après lui, le seul pays civilisé qui ne possédait pas de station de biologie marine (Prince 1901). Par la suite, on établit une deuxième station sur la côte ouest, et on commença des recherches à Nanaïmo, C.-B., en 1908. En établissant ces deux stations, le professeur Prince ne laissa aucun doute sur l'étendue des travaux qui devaient s'y poursuivre, comme l'indique le passage suivant:

> « Dans chaque localité où une station a été établie, les caractéristiques des poissons et des pêches de la région ont retenu l'attention du personnel, mais des études fauniques, botaniques, chimiques et autres ont été poursuivies assidûment. Une connaissance approfondie des conditions essentielles requises pour une industrie des pêches n'est possible que quand les divers caractères biologiques et physiques de la côte et des eaux concernées ont été étudiés. L'étude de l'environnement des poissons et des pêches est aussi nécessaire que l'étude des poissons eux-mêmes et de leurs habitudes, ou encore des méthodes pratiques d'exploiter les ressources halieutiques » (Prince 1907).

Le travail des stations biologiques canadiennes était dirigé par un office, qui devint par la suite l'Office des recherches sur les pêcheries du Canada.

Au moment où les sciences marines canadiennes acquéraient une identité formelle, il se produisit d'autres développements notables qui affectèrent le cours de l'océanographie biologique. Ce fut la fondation du Conseil international pour l'exploration de la mer (ICES) (1902), la fondation de l'Institut Océanographique (Paris 1906) et du Musée Océanographique (Monaco 1910), grâce à la bienveillance du prince Albert 1er de Monaco, et la publication de certains manuels, notamment *Depths of the Oceans* (Murray et Hjort 1912).

La formation de l'ICES fut en grande partie le résultat d'une conférence tenue à Stockholm en 1899, organisée par Gustaf Eckman et Otto Pettersson. Le but du Conseil était de faire des recherches sur les méthodes hydrographiques, établir un laboratoire international et étudier les problèmes d'une pêche trop intensive. Cependant, comme le souligne Cushing (1972), les premiers travaux du Conseil démontrèrent que le problème de l'échantillonnage du poisson était tellement grand, à cause de la variance des prises, qu'on décida de laisser tomber le sujet de la « surexploitation » à cause du manque de définition statistique valide.

En France, les qualités de chef démontrées par le prince Albert 1er de Monaco en fournissant une aide financière et en participant à plusieurs voyages d'exploration océanographique, de même qu'en fondant deux institutions importantes, sont un premier exemple de la munificence démontrée par la suite par certains individus, et qui devait entraîner la fondation d'instituts maritimes dans d'autres parties du monde.

La publication de *Depths of the Oceans* par Murray et Hjort (1912) devait avoir une conséquence intéressante pour le Canada. L'ouvrage est en grande partie un compte rendu des découvertes faites par Murray et Hjort au cours de campagnes du navire norvégien *Michael Sars*. C'est à cause de cette expérience scientifique que le Dr Hjort fut invité à poursuivre des recherches semblables dans les eaux canadiennes, ce qu'il fit durant les années 1914–15. L'expédition fut connue et publiée sous le titre de Canadian Fisheries Expedition, 1914–15 (Hjort 1919). Le caractère de cette expédition s'accordait très bien avec le type de recherches poursuivies par les stations biologiques de l'Office. De fait, les négociations qui précédèrent l'expédition ainsi que la préface du rapport furent le fruit du travail du professeur Prince, qui exprimait sans se lasser le besoin d'une attaque multidisciplinaire du problème des pêches.

Devant le succès de plusieurs expéditions océanographiques majeures et la fondation de laboratoires maritimes, il n'est pas surprenant de constater que la science de l'océanographie avança rapidement, en Europe comme en Amérique du Nord. Le principal centre de recherches sur le plancton avait été établi à Kiel, où les travaux de Mobius débouchèrent sur l'ouvrage classique de Victor Hensen (1887); les traditions établies par ces études ont été maintenues jusqu'à maintenant par plusieurs générations de planctonologues éminents. L'école danoise, sous la direction de C. S. J. Peterson, entreprit des études benthiques et une définition des communautés marines, alors que l'écologie des récifs de coraux devint la spécialité de l'Américain Alexander Agassiz, qui fit plusieurs autres contributions notables à la recherche marine. Durant la période 1920–30, une bonne partie des travaux de base sur la chimie des mers ont été effectués en Europe par des personnes comme Harvey (Plymouth), Brandt et Wattenburg (Kiel), et Thompson et Ketchum aux États-Unis, pour ne mentionner que quelques-uns.

C'est ainsi que, vers les années 1940, l'océanographie biologique avait fait d'énormes progrès dans les domaines de la systématique du plancton et de la faune benthique, de l'organisation des communautés, et celui apparenté de la chimie des substances nutritives. Des travaux ultérieurs sur la relation entre le phytoplancton et le zooplancton d'une part, et l'environnement physique et chimique d'autre part avaient donné des résultats tels que Riley (1946; 1947) et Sverdrup (1953) purent en donner des explications raisonnables en termes de modèles mathématiques décrivant les facteurs responsables des poussées planctoniques. Cependant, durant cette période récente de l'histoire, il y eut un manque surprenant d'approche multidisciplinaire au problème des pêches, alors que cette approche avait été l'une des pierres angulaires de l'établissement de laboratoires maritimes et d'expéditions océanographiques du début. La raison en est, semble-t-il, l'évolution des modèles sur la dynamique des populations. On a commencé à formuler ces modèles durant la première partie du XXe siècle (e.g. Baronov 1918; Thomson et Bell 1934) et on continua de le faire jusqu'à présent, avec des raffinements toujours plus poussés. (e.g. Ricker 1945; Beverton et Holt 1957; Schaefer 1954). Ces modèles ont ceci en commun qu'ils excluent l'environnement comme facteur déterminant pour la gestion des pêches. Ainsi, en dépit des travaux antérieurs de Hjort (1914) et d'autres, démontrant qu'une abondance de poissons était le résultat du succès d'une seule classe annuelle, l'étude des poissons se poursuivit en grande partie indépendamment des autres sciences de la mer, se basant seulement sur les statistiques de populations de poissons le plus facilement obtenues, telles que les prises et l'effort. La seule exception fut le développement d'études physiologiques sur les poissons (e.g. Prosser 1955 et plusieurs autres, y compris les travaux effectués aux laboratoires de Plymouth et de Naples). Bien que ces études, dans plusieurs cas, n'eussent pas été motivées par des considérations écologiques, Kinne (1957) fit remarquer que la capacité physiologique des organismes faisait définitivement partie de l'écologie de l'environnement (« physiologische Ökologie »).

En conclusion, il semble bien que des vues divergentes sur le contrôle, par l'homme et par sa récolte des ressources marines, vs par la nature et par les facteurs du milieu, aient causé un vide dans les politiques de gestion des pêches. Cette situation devra être rectifiée par une meilleure compréhension de la biologie des océans, une attention spéciale étant accordée à la relation entre les ressources récoltables et l'environnement.

3. Océanographie biologique au Canada

3.1 Résumé des programmes de recherches courants

Le tableau 1 donne la répartition des fonds affectés aux recherches en océanographie biologique. Les crédits totaux indiqués à la deuxième colonne sont d'environ $3.1 millions par année pour 1973/74. Ce montant pourrait doubler si l'on y ajoutait les dépenses en immobilisations (e.g. navires, immeubles,

TABLEAU 1. Financement[a] de la recherche en océanographie biologique dans les institutions canadiennes (1973–74).[b]

Institution	Montant ($000)	Programme	Commentaires
Laboratoire d'écologie marine, SPSM, Dartmouth	400	Océanographie biologique	Programmes océanographiques supp. en rapport avec évaluation des stocks de poissons ($734) et pollution ($914).
Laboratoire d'Halifax	32	Réseau alimentaire aquatique	
Station biologique de St. Andrews, SPSM	143	Écologie appliquée	Visant surtout à étudier les effets de la pollution.
Station biologique de l'Arctique, SPSM	282	Océanographie biologique	Exclut études connexes sur mammifères et poissons marins.
Station biologique du Pacifique, SPSM, Nanaïmo	100	Changements du milieu sur ressources aquatiques	Inclut études à la Station océanique « P », mais exclut études connexes sur les pêches.
Institut de l'environnement du Pacifique, SPSM, Vancouver	171	Phytoplacton et écologie benthique des estuaires	Programme océanographique supp. associé aux pêches ($34) et à la pollution
Division de la zoologie, Musées nationaux	269	Océanographie biologique	Inclut le budget du Centre canadien d'identification océanographique
Département d'océanographie, Université Dalhousie	200	Océanographie biologique	
Département de biologie, Université Dalhousie	78	Productivité de la zone côtière; environnement et génétique	Partie d'un octroi de 4 ans du CNR qui inclut certains aspects de l'océanographie biol. près des côtes
Laboratoire régional de l'Atlantique, CNR	125	Écologie des plantes marines	Partie d'un programme plus étendu sur la culture des plantes marines.
Institut d'océanographie, U.C.-B.	360	Océanographie biologique	N'inclut pas les programmes des Dépt. de botanique et zoologie sur les algues marines et les pêches
Centre des sciences marines Université McGill	85	Océanographie biologique	
Université Laval	330	Océanographie biologique	Moyenne sur période de 3 ans, y compris formation du GIROQ et participation des Univ. de Montréal et Sherbrooke
Université de Victoria	42	Océanographie biologique	
Université du Québec, Rimouski	115	Océanographie biologique	
Université de Guelph	275	Océanographie biologique	Inclut études écologiques sur mammifères marins et recherches sur la pollution
Laboratoire maritime Huntsman, St. Andrews	12	Eutrophisation de l'estuaire de la rivière St-Jean	Étude poursuivie par les scientifiques de l'Univ. du N.-B.
Laboratoire maritime, Bamfield	10	Étude des lits de varechs	Étude poursuivie par les scientifiques de l'Univ. Simon Fraser
Université Memorial	90	Programmes individuels du Dépt. de biologie et études écologigues au Lab. de rech. en sciences marines	Octrois du CNR à des individus pour études en biologie marine, à l'exclusion de la parasitologie.

[a]Salaires et coûts d'opération de la recherche, à l'exclusion des navires et des dépenses majeures en immobilisations, tels bâtiments et leur opération.

[b]Sources: Revue des projets du SPSM, 1973–74; CNR et communications personnelles.

etc.) et les programmes marginaux, tels que certains types de recherche sur les pêches et la pollution. Comme tel, le budget consacré à l'océanographie biologique représente de 5 à 10% des crédits totaux que, selon les prévisions de Stewart et Dickie (1971), le gouvernement fédéral aurait alloué à la science et à la technologie marine en 1973. Ces chiffres ne permettent cependant qu'une comparaison grossière, car, dans le tableau 1, Stewart et Dickie incluent les salaires versés au personnel des universités par les gouvernements provinciaux, et le rapport exclut les contributions du Conseil national de recherches (CNR). Un chiffre plus directement comparable est la différence entre le budget gouvernemental du SPSM pour la recherche dans ses laboratoires de l'Atlantique et du Pacifique, d'une part, et les montants totaux consacrés à la recherche en océanographie biologique dans ces mêmes laboratoires, d'autre part (tableau 1). Les fonds consacrés à la recherche en océanographie biologique par le Service des pêches et des sciences de la mer sont d'environ $1 million sur un budget total d'environ $34 millions pour les mêmes stations; ces statistiques indiquent que les montants consacrés à l'océanographie biologique représentent de 3 à 6% du budget de recherches total du SPSM, ce dernier pourcentage valable si l'on inclut les dépenses accessoires non comprises dans le tableau 1. De plus, les crédits de recherches dont disposent les laboratoires gouvernementaux (SPSM, CNR et Musées nationaux) sont d'environ $1.5 million comparativement à environ $1.6 million pour la recherche dans les universités. Les crédits sont donc répartis dans une proportion de 50% chacun entre la recherche académique et la recherche appliquée. Cependant, l'opération des grands navires de recherches et les installations d'eau salée dans les laboratoires gouvernementaux représenteraient une dépense gouvernementale considérable si les coûts d'immobilisation et d'entretien avaient été inclus dans le tableau 1.

La recherche en océanographie biologique dans l'est du Canada est partagée entre au moins 10 institutions (tableau 1), allant de St-Jean, T.-N., à Guelph, Ont. Bien que la liste englobe tous les programmes importants, il est à souligner qu'il se fait des recherches en biologie marine dans presque toutes les universités du Canada. Ceci est particulièrement vrai pour les petites universités, telles que l'Université du Nouveau-Brunswick et l'Université Simon Fraser, situées près de la mer. Devant une telle répartition géographique de l'effort en océanographie biologique, il n'est pas surprenant de constater que les programmes de recherches eurent tendance à se développer isolément les uns des autres. Il en est résulté des foyers de recherches distincts dans le domaine général de l'océanographie biologique. De plus, pour ce qui est des objectifs, on va de la recherche entièrement académique d'un seul individu à la recherche coordonnée, thématique, des laboratoires gouvernementaux.

Le programme de recherches le plus considérable en océanographie biologique est celui du laboratoire d'écologie marine, Dartmouth, N.-É. Ce programme est spécialement orienté vers la compréhension de l'océanographie biologique en rapport avec la production des pêches. Il s'agit d'une approche *écosystème* à la gestion des pêches. Le programme est fondé sur la conviction que les présentes stratégies de gestion, telles que représentées par des modèles de dynamique de populations d'espèces uniques, ne répondent pas aux besoins de la gestion des pêches, y compris les prédictions concernant le rendement soutenu. Dans ses détails, le programme comporte une étude des processus de production et de transfert aux paliers inférieurs de la chaîne alimentaire. Cette recherche comprend des études, tant au laboratoire que sur le terrain, sur le plancton et les poissons. On poursuit des études dans des baies côtières choisies, traitées essentiellement comme des modèles *biologiques* d'un monde plus étendu. Des reconnaissances aériennes et des recherches en estuaire sont effectuées dans le golfe Saint-Laurent et on a accordé une attention spéciale à l'effet du débit du fleuve sur les prises de poisson.

Le Laboratoire d'écologie marine maintient des relations étroites avec les chercheurs plus académiques des Départements d'océanographie et de biologie de l'Université Dalhousie, Halifax, N.-É. Il se poursuit au Département d'océanographie de cette université un certain nombre de programmes qui sont le produit d'efforts individuels. Parmi ceux-ci, on note la mise au point d'un compteur de plancton in situ toué, des études sur les organismes des profondeurs, plancton aussi bien qu'endofaune, et des recherches sur le carbone organique particulaire de la mer. Des recherches se poursuivent en collaboration par les membres du corps professoral au cours de sorties océanographiques effectuées sur le plateau néo-écossais. Ces croisières servent surtout à la formation des étudiants, mais aident également les laboratoires gouvernementaux dans leurs relevés. Le Département de biologie de l'Université Dalhousie poursuit également un programme en biologie marine, dont certains aspects entrent dans la définition de l'océanographie biologique utilisée dans ce texte. Le programme « Productivité de la zone côtière » a été récemment financé par le CNR comme synthèse originale de méthodes écologiques et génétiques d'études de la productivité côtière. Le présent rapport ne traite pas de génétique, mais les études sur les habitats littoraux comprises dans ce programme, particulièrement celles des budgets d'azote, sont une importante recherche en océanographie biologique. Ces études sont également une extension de la recherche sur la

dynamique de la production des algues marines qui était jadis poursuivie au Laboratoire d'écologie marine, Halifax.

Le Laboratoire régional atlantique du CNR a maintenu une longue et excellente tradition dans le domaine de la culture des varechs et autres algues. Son programme porte en partie sur l'écologie des habitats côtiers et s'occupe également de l'aquiculture des algues.

Au laboratoire d'Halifax du Service des pêches et des sciences de la mer, les travaux sur le transfert des acides gras dans le réseau alimentaire marin se sont révélés d'une importance unique pour l'étude des réseaux alimentaires de la mer. On a découvert des transferts alimentaires par l'identification d'acides gras spécifiques dans divers organismes marins. On a trouvé entre autres des transferts entre les méduses et la morue, et, dans les estuaires soumis à l'influence des marées, entre l'épiflore et les détritus bactéries et les stocks de poissons locaux, en passant par l'endofaune et l'épifaune. On a découvert des chaînons dans le réseau alimentaire à l'aide d'analyses chimiques, là où des études écologiques auraient demandé plus de temps et plus d'argent.

Une étude sur le terrain d'organismes benthiques d'estuaires a été incluse dans le tableau 1 comme étant effectuée par le SPSM, St. Andrews, N.-B. Bien que ce rapport ne traite pas des programmes de pollution per se, le programme de St. Andrews semble toucher aux répercussions biologiques d'un environnement marin soumis à des contraintes. Pour cette raison, nous l'avons inclu dans le tableau.

À Terre-Neuve, les études en océanographie biologique ne sont pas identifiées comme telles, mais des recherches comprises dans la définition utilisée dans ce texte sont en grande partie centralisées à l'Université Memorial. Elles comprennent une étude coordonnée des processus littoraux associés au développement industriel de la baie Placentia, des études biologiques sur les poissons en rapport avec le projet de l'Appareil de recherche océanique à basse température (LORA-I), et un certain nombre de projets individuels sur les amphipodes, les homards, les moules, les pétoncles et les algues marines. Quelques-uns de ces derniers projets ont pour objet l'application des données de l'environnement à des projets d'aquiculture. En général, cependant, la programmation en océanographie se fait sur base individuelle et, parce que l'accès à un navire océanographique n'est pas facile, les projets sont nécessairement limités à des environnements du littoral. En plus de ces études, on poursuit des travaux sur le réseau alimentaire de poissons d'importance commerciale au laboratoire du SPSM à St-Jean, T.-N.

Des études coordonnées en océanographie biologique sous l'égide du Groupe interuniversitaire de recherches océanographiques du Québec (GIROQ) ont pour centre l'Université Laval et portent surtout sur l'estuaire du Saint-Laurent. Des 25 projets océanographiques compris dans ce programme, 15 sont essentiellement biologiques. Ce sont des inventaires de la faune et de la flore de l'estuaire, des études saisonnières sur les substances nutritives et la production, l'océanographie biologique descriptive de l'estuaire du Saint-Laurent et des études chimiques spécifiques sur les substances nutritives, les matières organiques et les acides hexuroniques des algues marines.

En plus des études en océanographie biologique poursuivies par le GIROQ, on a récemment ouvert un nouveau front océanographique au Québec. Il s'agit de l'Université du Québec à Rimouski où il y a deux organismes, l'Institut national de la recherche scientifique (INRS — Océanologie) et la Section d'Océanographie, Université du Québec à Rimouski (SOUQAR). Ces deux organismes poursuivent des recherches sur la productivité dans les régions littorales de l'estuaire, avec accent particulier sur les substances nutritives et l'analyse des matériaux particulaires.

Un troisième organisme au Québec poursuivant des recherches en océanographie biologique est le Centre des sciences marines de l'Université McGill. Il a probablement le programme le plus diversifié au Canada, du point de vue géographique, car les études englobent des projets dans l'Arctique aussi bien que des recherches sous-tropicales à l'Institut Bellaires de l'Université McGill aux Barbades. Les programmes sont également diversifiés et ont généralement la forme de travaux individuels en zoogéographie, nourriture du plancton, récifs de coraux, productivité dans l'estuaire du Saint-Laurent, et études de l'environnement arctique.

L'Université de Guelph offre des cours en sciences de la mer, mais poursuit au niveau gradué des recherches sur l'écologie du zooplancton. Cependant, cette université est renommée pour ses études sur les mammifères marins, en particulier les phoques et les petits cétacés de l'Atlantique. À l'exception d'études sur les phoques, le travail sur le terrain en sciences marines est en grande partie saisonnier et, comme tel, porte surtout sur les animaux marins migrateurs, mammifères et oiseaux.

La Station biologique de l'Arctique poursuit des études dans tout l'Arctique canadien, avec des programmes de recherches particuliers portant sur la baie Frobisher et le delta du Mackenzie. Ces programmes ont pour objectif d'étendre nos connaissances sur l'écologie marine arctique, y compris tous les aspects de la chaîne alimentaire marine à partir du phytoplancton, du zooplancton, et des invertébrés benthiques jusqu'aux mammifères.

Une partie du programme a été réorientée dernièrement vers l'étude de la répercussion des polluants, plus particulièrement en rapport avec l'exploration pétrolière.

Le Centre canadien d'identification océanographique (CCIO) à Ottawa joue un rôle des plus utiles dans la séparation et l'identification des organismes marins recueillis par diverses institutions dans les trois océans qui bordent le Canada. En collaboration avec la Division de la zoologie du Musée national des sciences naturelles (dont le CCIO fait partie), les programmes de triage et d'identification couvrent une gamme étendue d'organismes marins, du phytoplancton aux invertébrés benthiques. De plus, le CCIO s'occupe de préparer des textes sur l'identification du plancton et les méthodes de laboratoire.

L'océanographie biologique sur la côte ouest du Canada est partagée entre au moins cinq institutions, toutes localisées dans la partie méridionale de la Colombie-Britannique. En général, les programmes de ces institutions portent presque exclusivement sur les processus du littoral, en particulier dans le détroit de Georgie. On a abandonné les études du début en océanographie biologique dans les eaux du large du Pacifique, à l'exception d'un programme mineur à la Station météorologique océanique « P ».

La Station biologique du Pacifique du SPSM, Nanaïmo, poursuit présentement un programme interdisciplinaire sur les processus d'estuaires, y compris une étude de l'abondance, de la distribution, de la dispersion, des habitudes alimentaires et des interactions d'espèces importantes de poissons de commerce dans le détroit de Georgie. Les études en océanographie biologique dans le golfe d'Alaska se limitent présentement à un programme de contrôle continu à la Station météorologique océanique « P », où l'on récolte des données sur le plancton et les substances nutritives depuis 1958. À l'Institut de l'environnement du Pacifique du SPSM, les études en océanographie biologique sont axées sur les répercussions de la pollution, et des domaines d'intérêt spécifiques se rattachent au développement des ports dans les estuaires. Le programme inclut des études sur les communautés planctoniques et benthiques.

L'Institut d'océanographie de l'Université de la Colombie-Britannique poursuit plusieurs projets de recherches individuels sur le phytoplancton (y compris les eaux rouges), l'écologie du zooplancton et les effets biologiques des métaux lourds. Certaines études sur les phénomènes biologiques sont poursuivies en collaboration avec des chercheurs en océanographie physique et on en est à poursuivre un programme coopératif d'envergure sur les écosystèmes aquatiques contrôlés, comme partie du programme de la Décennie internationale de l'exploration océanique (DIEO). Ce dernier programme se poursuit dans l'inlet Saanich, C.-B., et porte surtout sur les effets chroniques à bas niveau des polluants sur le réseau alimentaire marin, y compris les communautés pélagiques et benthiques. À l'Université de Victoria, C.-B., il existe un actif programme d'enseignement au niveau sous-gradué en océanographie biologique, ainsi que des projets de recherches sur la matière organique particulaire, les organismes benthiques et le zooplancton dans les petites baies côtières.

3.2 Répartition des spécialistes en océanographie biologique et autres sciences de la mer

Nous donnons au tableau 2 la répartition, groupée en six disciplines, des scientifiques de la mer. Nous avons extrait ces données de l'*International Directory of Marine Scientists*, mais dans certains cas, le classement d'un scientifique dans l'une ou l'autre des disciplines mentionnées aux tableaux 2 et 3 peut être un peu arbitraire et ne pas être tout à fait représentatif des institutions canadiennes plus petites. Néanmoins, ces données démontrent en général que le plus grand groupe de scientifiques de la mer se trouve dans le domaine des pêches, suivi de près par les océanographes biologistes et les océanographes physiciens. Des groupes beaucoup plus petits se consacrent à l'océanographie géologique et chimique, à l'ingénierie et à l'instrumentation. Cependant, dans ces deux derniers groupes, il est évident qu'il y a eu, au cours des 5 dernières années, une croissance phénoménale du nombre de scientifiques. On peut attribuer ce fait à une augmentation du nombre de chimistes engagés dans des recherches sur la pollution des mers et au support donné par l'entreprise privée et le gouvernement à l'ingenierie des océans, y compris l'instrumentation.

Stewart et Dickie (1971) classifient les scientifiques de la mer sur une base différente, car le nombre total de scientifiques qu'ils indiquent pour 1971 est beaucoup plus grand que celui de l'*International Directory* pour 1974. Cependant, à en juger par l'augmentation qu'ils prévoient sur une période de 11 ans, 1969-80, il est évident que l'océanographie biologique et l'océanographie des pêches, pour lesquelles ils prévoient une augmentation de 5.5% par année, a augmenté à presque deux fois ce rythme durant les 5 premières années de la période. Ceci peut réfléter en partie la croissance rapide des études en biologie marine dans nos universités, que Stewart et Dickie (1971) indiquent comme augmentation du nombre d'étudiants, au taux annuel de 35%. Certains parmi ces étudiants auront trouvé du travail au cours des 5 dernières années, et une bonne partie de cette augmentation des emplois en océanographie biologique et des pêches peut être liée aux programmes de recherches

TABLEAU 2. Distribution des scientifiques de la mer, par discipline.

Discipline	Nombre de scientifiques		% augmentation par année
	1969[a]	1974[b]	
Pêches	90	139	9
Océanographie physique	85	108	5
Océanographie biologique	74	122	10.5
Océanographie géologique	39	59	8.5
Océanographie chimique	10	33	27
Ingénierie et instrumentation	16	32	15

[a]FAO, International Directory of Marine Scientists 1970.
[b]Révision de l'International Directory of Marine Scientists, FAO, fournie par le Secrétaire, Comité canadien d'océanographie.

TABLEAU 3. Distribution des océanographes biologistes au Canada, par discipline.

Discipline	Nombre de scientifiques[a], 1974
Zooplancton et niveaux plus élevés de production pélagique	42
Phytoplancton et production primaire du plancton	25
Recherche sur les algues marines	15
Recherche benthique (faune)	20
Autres (microbiologie et non spécifiée)	20

[a]Révision de l'International Directory of Marine Scientists, FAO, fournie par le Secrétaire, Comité canadien d'océanographie.

sur la pollution. Par ailleurs, la croissance des océanographes physiciens au taux de 5% par année est inférieure au chiffre de 11% projeté; une partie de cette différence serait due au fait que Stewart et Dickie groupent l'ingénierie avec la physique dans leur rapport. Seules la géologie et la géophysique qui, d'après Stewart et Dickie (1971), devaient nécessiter une augmentation de 9% par année, semblent avoir atteint leur niveau au tableau 2.

Nous avons subdivisé l'océanographie biologique en sous-disciplines au tableau 3. Dans ces catégories, les personnes travaillant sur le zooplancton et les niveaux trophiques plus élevés comprennent tous les biologistes qui étudient la structure des communautés telles que décrites dans la définition de l'océanographie biologique utilisée dans ce rapport. Cette catégorie, cependant, n'inclut aucun des experts en pêches du tableau 2 qui travaillent sur la dynamique des populations d'une seule espèce. Le tableau 3 indique clairement que les scientifiques intéressés aux problèmes de la zone pélagique sont à peu près deux fois plus nombreux que ceux qui travaillent sur les communautés benthiques, y compris les algues marines. Ceci peut s'expliquer par le fait que la zone benthique n'est pas utilisée comme lieu d'élevage par plusieurs expèces d'importance économique; en fait, c'est plutôt le contraire, et c'est la zone pélagique qui est le lieu d'élevage de plusieurs stades du début de vie des communautés benthiques. En conséquence, c'est peut-être dans la zone pélagique que l'abondance d'une classe d'âge d'organismes benthiques est déterminée, suivant le succès de déposition des larves.

Quand on considère le nombre de scientifiques qui travaillent sur les différents niveaux trophiques de la mer, on constate la situation illustrée à la figure 2. Cette figure a été établie en ajoutant le nombre de scientifiques travaillant sur la faune benthique au groupe travaillant sur le zooplancton (tableau 3, les deux groupes étudiant en grande

FIG. 2. Distribution des biologistes de la mer (chiffres apparaissant aux tableaux 2 et 3) et pyramide eltonienne de la distribution de l'énergie dans la mer. (Un dessin à l'échelle de cette pyramide en terme d'énergie serait mieux représenté en utilisant des ordres de grandeur différents pour les rectangles.)

partie les herbivores), et en comparant cette somme avec le nombre de scientifiques des pêches, tableau 2, et de groupes travaillant sur le phytoplancton et les algues marines, tableau 3. La répartition des scientifiques démontre que la plus grande partie des recherches en biologie marine est orientée vers un petit nombre d'espèces animales au sommet de la chaîne alimentaire. Ceci résulte de considérations économiques, soit le désir de mieux connaître les organismes présentement recoltés par l'homme. Cependant, la complexité de la vie marine ainsi que la quantité totale d'énergie augmentent à mesure que l'on descend dans la chaîne alimentaire, comme le démontre la pyramide eltonienne de la figure 2. La partie supérieure de la chaîne alimentaire étant entièrement dépendante de la partie inférieure, il serait scientifiquement plus sensé de savoir *comment* les niveaux trophiques inférieurs supportent les quelques espèces de poissons d'importance commerciale qui ont réussi dans la mer. Si l'on part de l'étage au-dessous des producteurs primaires et se rend jusqu'à la distribution de l'énergie radiante dans la mer, nous n'avons personne au Canada, depuis le travail de Strickland (1958), qui puisse s'identifier comme spécialiste dans ce domaine particulier de la productivité biologique — bien que l'énergie radiante soit un paramètre très important pénétrant par la surface de l'océan, et soutenant toute la vie marine, y compris nos pêches commerciales. En fait, les scientifiques des pêches parlent souvent du « rendement soutenu » des poissons sans s'arrêter à la façon dont le rendement est en réalité soutenu par la biologie des océans.

3.3 L'enseignement de l'océanographie biologique (y compris quelques exemples tirés d'autres institutions de l'Amérique de Nord et d'Europe)

Université de la Colombie-Britannique et Université Dalhousie — Le tableau 4 décrit le programme général d'enseignement de l'océanographie biologique aux deux universités canadiennes où existent des centres de recherches océanographiques; nous comparons ces programmes avec ceux de l'Université de Washington et du Scripps Institution of Oceanography, Californie. Dans tous les cas, il y a un noyau académique requis pour les étudiants postgradués, couvrant les quatre disciplines majeures en océanographie. Dès la 2e année d'études postgraduées, les étudiants doivent généralement suivre des cours supplémentaires comme on le voit à la seconde moitié du tableau 4. Cette dernière liste peut ne pas comprendre toutes les options possibles. En fait, des cours supplémentaires peuvent être suivis par les océanographes biologistes dans d'autres sujets océanographiques avancés, de même que dans des branches telles que la chimie organique, la biochimie, la limnologie et l'écologie terrestre.

D'après le tableau 4, il est apparent que la somme de cours requis est plus grande à l'Université de Washington; ce département diffère également des trois autres indiqués au tableau, en ceci qu'il offre un diplôme universitaire sous-gradué en océanographie. En général, les cours requis durant la 2e et la 3e année d'études postgraduées sont plus nombreux tant au SIO qu'à l'Université de Washington qu'aux deux centres canadiens comparables. En particulier, le SIO et l'Université de Washington exigent tous deux que les étudiants en océanographie biologique suivent l'un ou l'autre de deux cours de mathématiques orientés vers l'élaboration de modèles de relations trophiques dans la mer ou vers les statistiques de populations planctoniques, avec accent particulier sur la répartition inégale du plancton et l'échantillonnage. Il ne semble pas y avoir à l'heure actuelle de cours semblables dans le curriculum océanographique canadien, bien que des options comparables soient offertes aux écologistes terrestres tant à Dalhousie qu'à l'UCB. Il y a à l'UCB plusieurs professeurs qui enseignent des matières relatives aux pêches (Dépt. de zoologie), alors qu'il n'y a pas de groupe semblable à l'Université Dalhousie; cependant, l'Université Dalhousie possède une compétence en recherche et en enseignement de l'écologie benthique qui manque a l'IOUCB. Les quatre universités exigent une thèse pour l'obtention des grades M.Sc. et Ph.D. en océanographie, des séminaires par les étudiants gradués et un examen général (ordinairement après la 1e année).

En plus des données présentées au tableau 4 pour l'IOUCB et l'Université Dalhousie, on enseigne l'océanographie biologique à quelques autres universités canadiennes, ainsi que lors de sessions d'été aux stations maritimes Bamfield (côte du Pacifique) et Huntsman (côte de l'Atlantique). Dans ces programmes, l'enseignement de l'océanographie biologique est souvent partie d'un curriculum au niveau sous-gradué, tel que l'option biologie marine. Cependant, il se poursuit des études postgraduées en océanographie biologique dans diverses institutions, comme l'indique le nombre d'étudiants postgradués figurant au tableau 5. À en juger par ces chiffres, il est évident qu'il y a autant de diplômés en océanographie biologique formés en dehors des deux centres d'océanographie et au Centre des sciences marines (Université McGill) qu'il y en a de formés dans ces centres; cependant, une différence qui apparaît au tableau 5 est que, parmi les 54 étudiants à l'IOUCB, Dalhousie et McGill, 37 se préparent au Ph.D., alors que parmi les 45 étudiants enregistrés dans d'autres institutions, moins d'un quart sont des candidats au Ph.D.

De plus, il est à noter dans ce tableau que plusieurs étudiants postgradués inscrits dans les Départements de botanique, zoologie et biologie à l'UCB,

TABLEAU 4. Programmes[a] d'enseignement au niveau gradué de l'océanographie biologique à l'Institut d'océanographie de l'Université de la Colombie-Britannique (IOUCB) et au Département d'océanographie de l'Université Dalhousie (DOUD), comparés à ceux du Département d'océanographie de l'Université de Washington (DOUW), et du Scripps Institution of Oceanography (SIO).

Cours[b]	Université			
	IOUCB	DOUD	DOUW	SIO
Cours obligatoires 1e et 2e années				
Océanographie physique	2	3	10	3
Océanographie chimique	2	3	5	3
Océanographie géologique	2	3	6	3
Océanographie biologique	6	3	8	5
Options de 1e et 2e années				
Écologie du plancton/océanographie biologique supérieure	—	2	12	5
Statistiques des populations marines	—	—	12[e]	6[c]
Écologie des communautés marines de populations (modèles)	—	—	12[e]	3
Biologie des profondeurs	—	—	3	3
Ichtyologie	6	3	?[e]	5
Zoologie sup. des invertébrés	4	—	9[e]	3
Plantes marines	6	3	3	6
Microbiologie marine	—	—	?[e]	9
Éthologie animale	3	2	?[e]	5
Biologie des pêches	6	—	?[e]	—[c]
Méthodes océanographiques	2	3	6	—[d]
Écologie benthique	—	3	3[e]	—
Physiologie et biochimie des organismes marins	—	—	—	10
Séminaires	oui	oui	oui	oui
Examen d'ensemble	oui	oui	oui	oui

(—) pas de cours comparable (?) pas sûr si ce cours est donné

[a]Ce tableau ne doit pas être utilisé pour guider l'étudiant: les cours requis peuvent varier selon la formation de base de l'étudiant.

[b]Cours indiqués en nombre de crédits. Un crédit = 1 h de cours/semaine ou 3 h lab/par 10 semaines.

[c]Cours donné à tous les 2 ans ou à intervalle irrégulier.

[d]Compris dans un stage à bord d'un navire.

[e]Cours donné en partie ou entièrement en dehors du département.

Dalhousie et McGill, et qui font des travaux en biologie marine, ne sont pas inclus dans ces nombres. Quelques-uns de ces étudiants pourraient être considérés comme océanographes biologistes, d'après la définition de ce rapport (e.g. écologie de la zone des algues marines, *voir* tableau 1, Département de biologie, Université Dalhousie). Le rôle de ces trois universités dans la formation d'océanographes biologistes est probablement sous-estimé au tableau 5.

L'enseignement au niveau postgradué en océanographie biologique dans les institutions canadiennes autres que celles indiquées au tableau 4 inclut des séminaires et une thèse, en plus des cours suivants:

Centre des sciences marines, Université McGill — Les cours que tous les étudiants gradués doivent suivre sont l'environnement marin, l'océanographie biologique et l'océanographie descriptive. De plus, on exige généralement qu'ils suivent un cours d'écologie marine supérieure, de même qu'un ou deux cours facultatifs comprenant la zoologie supérieure des mollusques et crustacés, l'écologie marine tropicale et la pollution aquatique. En

TABLEAU 5. Étudiants gradués et sous-gradués suivant des cours en océanographie biologique au Canada (1973-74).

	IOUCB[a]	Dépt. océanogr.[b] Dalhousie	Centre[a] sci. mar. McGill	U. Laval[b] (Qué.)	U. Québec (Rimouski)	U.-Victoria	Univ. Guelph
Sous-gradués	68	150	99	40	—	74	205[c]
Gradués							
M.Sc.	6	5	12	13	6	7	14
Ph.D.	11	13	7	3	—	—	2
Total	17	18	19	16	6	7	16

[a]N'inclut pas les étudiants gradués dans les Départements de zoologie, botanique ou biologie et candidats à un grade supérieur dans des sujets apparentés à la biologie marine.

[b]Inclut quelques personnes associées au GIROQ aux Universités de Montréal et Sherbrooke.

[c]Inclut quelques personnes suivant des cours d'été au Laboratoire maritime Huntsman.

ce qui concerne ce curriculum, on doit noter que l'Université McGill opère un laboratoire aux Barbades et que ce laboratoire est utilisé par les étudiants postgradués et les professeurs pour poursuivre des études de biologie marine dans un environnement sous-tropical.

Département de biologie, Université Laval — À l'Université Laval, l'enseignement de l'océanographie biologique débute avec la 2e année d'études sous-graduées, en même temps qu'un cours d'introduction à l'océanographie physique. À la 3e année d'études, on y ajoute quatre cours en océanographie biologique, y compris travaux sur le terrain.

La formation des étudiants postgraduées à l'Université Laval inclut des cours d'écologie des poissons, thermodynamique des écosystèmes, mathématiques pour écologistes, problèmes d'éthologie, dynamique des populations, et cours avancés supplémentaires en écologie marine, y compris les organismes de la zone intertidale.

Université du Québec à Rimouski — Le programme de l'Université du Québec en océanographie biologique est orienté spécifiquement vers la formation de candidats au M.Sc. Les cours qu'on y donne incluent l'océanographie biologique, physique, chimique et géologique, de même que des cours en écologie marine, écologie du phytoplancton et écologie du zooplancton.

Université de Guelph — L'Université de Guelph offre 10 cours en sciences marines à l'intention des océanographes biologistes. Ceux-ci comprennent un cours d'océanographie physique, quatre cours de pêcheries (ichtyologie et gestion), un cours de biologie marine comprenant une section sur la paléogéographie, un cours sur le terrain donné au Laboratoire maritime Huntsman (St. Andrews, N.-B.), un cours de microbiologie marine et deux cours sur l'utilisation des ressources. La formation au niveau sous-gradué des étudiants en sciences marines met l'accent sur la chimie, les mathématiques et la physique de même que sur des cours pratiques tels que la programmation des ordinateurs et l'électronique.

Département d'océanographie, Université de Southampton (R.-U.) — La formation au niveau postgradué en océanographie biologique à l'Université de Southampton conduit à trois diplômes: les diplômes réguliers comportant la rédaction d'une thèse et conduisant au M.Phil., au Ph.D., et au diplôme de M.Sc. sans thèse. Les deux premiers diplômes sont semblables, quant aux exigences académiques, à ceux de l'IOUCB ou de l'Université Dalhousie. Cependant, le diplôme de M.Sc. en océanographie, ne requérant pas de thèse, ne peut être obtenu au Canada. Comme ce programme sert à former des cadres de technologues qui peuvent être particulièrement utiles à des recherches futures en océanographie, il est bon de le décrire brièvement ici.

Le M.Sc. après 12 mois d'études commençant en septembre et comprenant 10 semaines de cours d'introduction, se présente comme suit:

10 cours Introduction à la géologie et à la géophysique
20 cours Océanographie physique descriptive
25 cours Introduction à l'océanographie biologique et chimique
5 cours Éléments de navigation

Pendant cette période, l'étudiant fait également des travaux pratiques incluant des analyses d'eau de mer en laboratoire et du temps en mer. Une fois terminée cette section du programme, l'étudiant doit passer un examen de certification.

Après ces cours d'introduction, les étudiants choisissent 5 sujets facultatifs spécialisés parmi 14 cours avancés, dont chacun couvre une période de 2 semaines. La liste des cours facultatifs couvre généralement tout le domaine de l'océanographie (mais non les pêches). Après cette période de formation avancée, l'étudiant doit poursuivre un projet de recherche qui doit être terminé et dont les résultats doivent être soumis avant la fin de septembre. L'examen final est donné par les membres du corps professoral et une personne de l'extérieur qui étudie les rapports de projets et qui se rend à l'université afin de questionner personnellement les étudiants sur leurs travaux.

Finalement, il est intéressant de noter que ce type de diplôme sans thèse est loin d'être unique au Royaume-Uni et que plusieurs universités offrent un diplôme de M.Sc. sans thèse dans plusieurs domaines scientifiques (e.g. météorologie, agriculture).

Institut für Meereskunde, Kiel (Allemagne) — La formation des océanographes biologistes à l'Institut für Meereskunde se poursuit selon des modalités différentes de celles que l'on trouve en Amérique du Nord. La formation débute au niveau sous-gradué avec des cours d'introduction tant en océanographie biologique qu'en pêches. Ces cours comprennent: taxonomie, productivité biologique, océanographie physique descriptive, océanographie chimique, et dynamique des populations. On exige ensuite un projet de thèse original, et ceci requiert 6 mois de formation sur le terrain et jusqu'à 1 année pour la rédaction. Les étudiants doivent donner des séminaires, assister à des cours spéciaux et passer quelque temps en mer. Ce curriculmum conduit à deux diplômes différents: le premier après 4 ou 5 semestres, et l'autre après 8 semestres. Un diplôme équivalent au Ph.D. peut être obtenu après 3 ou 4 années supplémentaires de recherche, au cours desquelles le candidat n'a à suivre que très peu ou pas de cours réguliers, sauf séminaires et conférences spéciales.

3.4 Facilités de recherches de grande envergure en océanographie biologique

La condition la plus importante de la poursuite de travaux océanographiques est la possession d'un navire. La flotille de navires océanographiques canadiens s'est beaucoup améliorée au cours des 2 dernières décennies, et on peut dire sans crainte de se tromper que nos facilités en navires pour études océanographiques sont parmi les meilleures au monde. De plus, l'opération de ces navires par des organismes gouvernementaux tels que le ministère de la Défense nationale, le ministère de l'Environnement (ME) et le ministère des Transports est efficace, et la coopération des capitaines et des équipages avec les océanographes biologistes excellente. Suivant les termes d'un accord entre les organismes membres du CCO, il a de plus été possible aux universités d'utiliser les navires gouvernementaux à des fins de recherche et de formation. Cet arrangement, pour lequel les universités n'ont rien à payer, a contribué grandement au développement de l'océanographie au Canada. Les trois universités qui bénéficient de ce programme sont l'Université de la Colombie-Britannique, l'Université McGill et l'Université Dalhousie; par ailleurs, plusieurs autres universités ont utilisé de temps à autre des navires gouvernementaux. Les programmes en océanographie biologique ont utilisé de grands navires tels que les navires météorologiques (5350 tonnes) de la côte de l'ouest, de même que des navires plus petits tels que le CSS *Vector* (550 tonnes). Des études semblables sur la côte de l'est ont utilisé le CSS *Sackville* et le CSS *Hudson*. De plus, l'Université de Victoria est en train de construire son propre navire de recherches, d'une longueur d'environ 50 pieds, pour des recherches près des côtes.

Pour les océanographes biologistes, la seconde installation importante est généralement un système de circulation d'eau salée en laboratoire. Dans les laboratoires gouvernementaux, il existe des installations passables à la Station biologique du Pacifique à Nanaïmo, C.-B., à l'Institut de l'environnement du Pacifique (Vancouver-Ouest), à la Station biologique de St. Andrews, N.-B., au laboratoire d'Halifax, de même qu'un système de recyclage à l'Unité arctique du SPSM. Tous ces laboratoires, sauf le dernier, sont de plus situés au bord de la mer, de sorte que, en plus des installations d'eau salée en laboratoire, on a également l'occasion de poursuivre certaines expériences sur les quais ou installations avoisinantes sur le terrain. Dans les universités, on a des installations d'eau de mer au Laboratoire maritime (Bamfield, C.-B.), au Laboratoire maritime Huntsman (St. Andrews, N.B), à l'Université Memorial (Logy Bay, T.-N.) et un système de recyclage à l'UCB et à Guelph. Cependant, l'installation d'eau salée la plus grande et la plus élaborée se trouve au Département d'océanographie de l'Université Dalhousie. On donne à cette installation le nom d'Aquatron. Elle consiste en un bassin (50 pi de diamètre, 13 pi de profondeur, contenant 184,000 gal É.-U.), une tour (35 pi de profondeur, 12 pi de diamètre, contenant 30,000 gal É.-U.), des pièces contenant des aquariums expérimentaux (10 systèmes séparés) et un laboratoire de haute pression servant à des études d'organismes et de processus biologiques des profondeurs de la mer.

On a fait de façon sporadique des observations biologiques sous-marines à partir de véhicules équipés d'hommes et utilisant des navires prêtés temporairement par le gouvernement ou l'industrie. Le seul habitat sous-marin d'eau salée permanent

dans les eaux canadiennes est situé à Terre-Neuve et se trouve sous la direction de l'Université Memorial. L'habitat, LORA-I, fonctionne depuis 1971 et repose dans 30 pi d'eau. La coque de l'habitat a une longueur de 16 pi et un diamètre de 8 pi; les biologistes l'ont utilisé surtout comme outil de recherches sous-marines sur les poissons.

De grandes colonnes d'eau en plastique pouvant servir à l'étude de la chaîne alimentaire pélagique de la mer ont été mises à la disposition des océanographes biologistes de l'IOUCB dans les cadres du programme de la DIEO, Expérience sur la pollution dans un écosystème contrôlé (EPEC). Ces colonnes sont situées à Saanich Inlet, C.-B., et sont de deux grandeurs: un groupe de six contenants, ayant chacun un diamètre de 2 m et une hauteur de 15 m, et un groupe de trois contenants, ayant chacun un diamètre de 10 m et une hauteur de 30 m. Cette installation commença à opérer en 1974 et sert à l'étude des effets des polluants sur les chaînes alimentaires marines.

3.5 Organismes nationaux et internationaux intéressant les océanographes biologistes canadiens

Les deux organismes nationaux qui aident le plus la recherche en océanographie biologique au Canada sont le ME et le CNR. Le premier, par l'intermédiaire de son SPSM, est responsable des grands laboratoires gouvernementaux indiqués au tableau 1. De plus, le SPSM accorde une aide financière considérable, sous forme de contrats, aux universités et à l'entreprise privée. Ces montants sont destinés à supporter directement ou indirectement des études sur la biologie des océans (e.g. subventions aux universités pour des études sur les pêches; subventions aux sociétés de consultants pour l'étude des effets de déversements de pétrole). Le CNR donne son appui à l'océanographie biologique par le biais de subventions individuelles à des chercheurs universitaires (surtout par l'intermédiaire d'un sous-comité d'octroi du CNR sur la biologie des populations), de même que par un programme de bourses d'études et de développements majeurs. En plus de ces deux organismes gouvernementaux, un certain nombre d'entreprises privées, y compris la Fondation Denner, Shell Canada, Imperial Oil, et l'International Copper Research Association, ont accordé une assistance financière plus petite à la recherche en océanographie biologique. Plus récemment, certaines sociétés pétrolières ont coopéré avec le gouvernement canadien dans un programme de recherches sur la mer de Beaufort. Le programme, désigné sous le nom d'Arctic Petroleum Operators Association Project 72, est supporté par un certain nombre de sociétés, y compris Dome Petroleum Ltd. et l'Union Oil Company of Canada. Ce travail de reconnaissance inclut, du moins en partie, des études d'océanographie biologique sur le plancton et les organismes benthiques. On a obtenu de l'aide de sources étrangères pour certaines études universitaires en océanographie biologique au Canada. Cette aide provient généralement des États-Unis, et les organismes impliqués incluent l'Office of Naval Research et la National Science Foundation (par sous-contrats). D'autres types d'aide à l'océanographie biologique peuvent servir à des recherches hautement thématiques. C'est le cas d'organismes comme la Société de développement du Cap-Breton (SDCB) qui a mis sur pied un programme de développement d'aquiculture au Cap-Breton. De plus, il est évident qu'un certain nombre d'organismes des gouvernements provinciaux montrent un intérêt nouveau dans des développements marins sur le littoral, tels que l'aquiculture. Les gouvernements provinciaux contribuent directement au support de l'océanographie biologique en payant les salaires des professeurs universitaires dans le domaine de l'océanographie biologique. Les autres organismes fédéraux apportant une aide indirecte à l'océanographie biologique incluent le ministère de la Défense nationale et celui des Transports, qui fournissent des navires de recherches océanographiques pour certains types de recherche.

En plus des organismes impliqués dans le financement de l'océanographie biologique au Canada, il y a un certain nombre d'organisations dont le but est surtout de promouvoir la coopération parmi les scientifiques. Ces organisations n'ont pas de programme de subventions, mais leur travail peut souvent être très efficace. En particulier, le CCO a la responsabilité de coordonner les programmes et de mettre des navires de recherches à la disposition des océanographes. Le Centre canadien de données océanographiques se charge de la manipulation de certaines données biologiques, alors que le CCIO joue un rôle utile en coordonnant et en aidant l'identification des organismes marins dans les eaux canadiennes. Le comité canadien membre du Scientific Committee on Oceanic Research (SCOR) a été formé dernièrement dans le but de répondre aux besoins scientifiques de la communauté océanographique nationale et internationale.

Il n'existe pas de société océanographique au Canada, mais la plupart des océanographes biologistes sont membres de l'American Society of Limnology and Oceanography, qui a tenu plusieurs réunions annuelles au Canada. Cette Société est un forum régulier devant lequel les scientifiques peuvent présenter leurs découvertes scientifiques sur des sujets océanographiques.

Les organisations océanographiques internationales sont de deux types: les organisations intergouvernementales (OIG) et les organisations non gouvernementales (ONG). Dans la première

catégorie, se trouvent un certain nombre d'organismes de pêches directement intéressés à la biologie des océans. Ce sont la Commission internationale des pêches du Nord-Ouest de l'Atlantique (ICNAF), et l'ICES. Traditionnellement, ce dernier organisme a été à l'avant-garde avec ses vastes programmes en océanographie physique et biologique, de même qu'avec d'autres programmes associés à la gestion des pêches. Récemment, l'ICNAF a formé un groupe de travail sur l'environnement, qui présentera un intérêt particulier pour les océanographes biologistes. De semblables organisations dans l'océan Pacifique, la Commission internationale des pêches du Pacifique-Nord (CIPPN) et la Commission internationale du flétan du Pacifique (CIFP), ont fait preuve d'un manque d'intérêt décevant pour l'information océanographique biologique.

La plus grande OIG directement impliquée dans l'océanographie internationale est la Commission océanographique intergouvernementale (COI) qui fut responsable de l'organisation d'un certain nombre d'expéditions océanographiques et de groupes de travail scientifiques internationaux. Cet organisme est sous l'égide de l'Organisation des Nations Unies pour l'éducation, la science et la culture (UNESCO); les autres organismes des Nations Unies poursuivant des programmes en océanographie biologique comprennent l'Organisation pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) et l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA). Plus récemment, l'OTAN a accordé une aide à l'océanographie biologique.

Les organismes non gouvernementaux internationaux sont en grande partie sous l'égide de l'International Council of Scientific Unions (ICSU); deux organisations intéressant les océanographes biologistes sont l'International Association for Biological Oceanography (IABO) et le Scientific Committee on Oceanic Research (SCOR). La première a été formée assez récemment à cause du succès d'une semblable organisation pour les océanographes physiciens. L'IABO est une nouvelle organisation qui n'a pas encore demontré son utilité pour la communauté scientifique. La représentation dans cette association est confinée à la côte de l'est du Canada. À l'heure actuelle, les efforts en océanographie biologique en ce qui a trait aux groupes de travail et aux expéditions se font surtout par l'intermédiaire du SCOR. Mais ici également, nos activités internationales en biologie sont plutôt minimes comparativement aux programmes nationaux de pays même plus petits que le nôtre. Cependant, une autre fonction du SCOR est d'agir comme corps consultatif auprès de la COI; dans ce travail, il est secondé par le Comité consultatif de recherches sur les ressources marines (CCRRM) fondé par la FAO. Comme corps consultatifs, ces deux organisations ont l'occasion d'exprimer les vues des scientifiques directement auprès des gouvernements qui poursuivent des recherches océanographiques.

D'autres organismes internationaux intéressant les océanographes biologistes fonctionnent sur base temporaire; c'est le cas du Comité de la mer du Programme biologique international (PBI) et de son successeur, l'Homme et la biosphère (HEB). Il arrive également qu'on mette sur pied des organismes régionaux pour des fins particulières; c'est le cas du Sea Use Council, qui coordonne les programmes de la montagne sous-marine Cobb du Pacifique au large de la côte de la Colombie-Britannique; un autre est la Pacific Science Association, qui a un comité permanent sur les sciences de la mer.

4. Interrelations entre l'océanographie biologique et les autres sciences de la mer

4.1 Écosystèmes marins

Plusieurs facteurs contrôlent les écosystèmes de la mer. Ce sont des facteurs physiques, tels que les mouvements de l'eau et la lumière, des facteurs chimiques, tels que les substances nutritives, et des facteurs biologiques causés par l'action réciproque des composantes qui forment l'écosystème. Ces mêmes facteurs agissent sur les communautés benthiques, avec en plus des processus géologiques tels que la sédimentation. En plus de ces facteurs naturels, il y a les effets de l'homme qui se font généralement sentir soit par les pêches soit par la pollution. Le problème auquel l'écologiste de la mer a à faire face est de démêler les écosystèmes de telle sorte qu'il puisse en comprendre le comportement et de formuler des prédictions raisonnables sur lesquelles fonder les politiques de gestion.

Nous indiquons à la figure 3 quelques-unes des interrelations entre divers paramètres de l'environnement pélagique de la mer. Nous donnons dans cette figure une liste incomplète de quelque 15 paramètres biologiques, physiques et chimiques et indiquons les interactions qu'ils ont entre eux par le signe (+) s'il y a lieu, ou par un vide s'il n'y a pas d'interaction. Les flèches indiquent la marche à suivre pour interpréter le tableau. C'est ainsi, par exemple, que la stabilité verticale (2) affecte la disponibilité des substances nutritives (1), mais les substances nutritives (1) n'affectent pas la stabilité verticale (2). L'interrelation d'une composante avec elle-même est indiquée par un vide parce que de telles rétroactions se produisent généralement par l'intermédiaire d'une seconde composante (e.g. la production du phytoplancton (10) peut elle-même limiter la production du phytoplancton (10) en produisant une plus grande quantité de cellules

FIG. 3. Interrelations des facteurs biologiques et chimiques dans le contrôle des écosystèmes aquatiques (+ indique une interaction) — extrait de Parsons et de L. Boom 1974.

phytoplanctoniques, mais ceci se produit par l'intermédiaire d'une diminution du coefficient d'extinction (5)).

Cette figure sommaire indique que les composantes qui règlent les écosystèmes aquatiques peuvent être généralement divisées en effets physiques/chimiques (abiotiques) et en effets biologiques (biotiques). De plus, il est possible de démontrer, à partir de ce groupage, que les propriétés physiques et chimiques de la mer peuvent avoir un effet marqué sur les paramètres biologiques, mais qu'il y a peu d'effets biologiques sur l'environnement physique/chimique (autre que les substances nutritives (1), y compris les matières organiques et les coefficients d'extinction (5)). L'océanographe physicien a donc rarement à se préoccuper de la biologie des océans. En revanche, l'océanographe biologiste dépend fortement de connaissances sur l'environnement physique/chimique.

Dans la liste des paramètres indiqués à la figure 3, il y a plusieurs termes facilement définissables, tels que température (7) et salinité (8), en plus de termes plus nébuleux, tels qu'efficacité de transfert (14) et stabilité des chaînes alimentaires (15). Le besoin d'inclure ces derniers provient du fait que les systèmes biologiques exhibent des propriétés, comme système, qui ne sont pas caractéristiques des parties individuelles. Comme exemple, les efficacités de transfert se rapportent à l'interrelation entre deux niveaux trophiques, alors que la stabilité est une propriété complexe réflétant l'aptitude d'un écosystème à résister au changement. Parsons et de Lange Boom (1974) expliquent ces termes plus en détail.

4.2 Océanographie biologique et océanographie physique

Il est préférable de considérer l'application de l'océanographie physique aux problèmes de l'océanographie biologique en termes de problèmes spécifiques plutôt que de généralités. Une raison fondamentale en est que l'échelle des événements que la physique doit étudier peut être définie seulement en termes d'événements biologiques particuliers sous étude. D'après la figure 3, il est évident que des phénomènes généraux, tels que l'advection, la turbulence et la stabilité verticale,

peuvent tous affecter les événements biologiques; cependant, l'échelle de ces paramètres dans un estuaire, par exemple, est différente de celle de la pleine mer où, en certaines régions, la productivité biologique atteint un état d'équilibre qu'elle conserve durant de longues périodes.

Après avoir précisé un besoin, de la part des biologistes, d'avoir certaines explications physiques spécifiques, on doit maintenant se demander à quel point la physique (données plus théorie) est capable de solutionner un problème biologique particulier. Ici, le biologiste pourra obtenir des données comme celles touchant la profondeur de la couche mixte de l'océan et utiliser ces estimés pour prédire des changements saisonniers de production. Cependant, dans d'autres cas, comme celui des taux de diffusivité verticale, de remontée d'eaux profondes, ou d'estimés généraux de champs de vélocité hydrodynamique, le biologiste demandera à l'océanographe physicien des renseignements que le physicien lui-même aura de la difficulté à se procurer. De plus, bien que les études biologiques ne présentent qu'un intérêt marginal pour les océanographes physiciens, comme l'indique la figure 3, les biologistes peuvent parfois contribuer à apporter des corrections ou à indiquer la voie aux solutions physiques. L'usage d'organismes planctoniques comme indicateurs des masses d'eau n'est probablement qu'un exemple historique de ce fait. Par ailleurs, d'uutres considérations, telle la distribution de l'oxygène en rapport avec les phénomènes biologiques, peuvent également servir à introduire un certain réalisme dans les calculs de la diffusivité verticale; une bonne description d'écosystème peut donc servir, par rétroaction, à la vérification de processus physiques.

Une propriété importante concernant la formulation de relations trophiques entre organismes est le degré de non-homogénéité spatiale ou de distribution inégale du plancton. Il est très important pour les biologistes de connaître l'étendue de ces taches de plancton, de même que le temps pendant lequel ces taches sont entretenues par l'environnement physique de la mer. On trouvera une discussion préliminaire de ces problèmes dans Platt (1972) et Steele (1974a).

L'utilisation des ondes sonores pour déterminer la biomasse des organismes dans la mer est un autre problème qui requiert un examen plus poussé de la part des physiciens. La lumière est une propriété importante des océans. Cependant, l'extinction de la lumière, comme radiation photosynthétiquement active, a été relativement peu étudiée. La sédimentation du matériel particulaire et les propriétés des interfaces air–eau et vase–eau sont des problèmes de biophysique et de chimie-physique qui doivent être précisés dans des travaux sur la biologie du neuston, du plancton et des communautés benthiques.

Au niveau de l'organisation, il est important de reconnaître que les océanographes biologistes et physiciens ne peuvent poursuivre leurs travaux isolément les uns des autres. Bien sûr, chacun doit avoir le temps de développer sa propre spécialité, mais il doit y avoir également des périodes consacrées à des travaux en collaboration. Une collaboration de ce genre, à grande échelle, a été réalisée récemment par l'intermédiaire du programme Coastal Upwelling Ecosystems Analysis (CUEA) de la CIEO. Ce programme est un exemple presque unique d'une grande entreprise ayant pour objectif l'intégration des échelles spatiale et temporelle des processus physiques à la fonction des écosystèmes, à un palier où il peut être possible d'élaborer un modèle d'écosystème total.

4.3 Océanographie biologique et océanographie chimique

La composition chimique du plancton et du necton est relativement bien connue quant à la nature de ses composants et à sa valeur nutritive. On a de plus effectué beaucoup de travaux physiologiques et biochimiques sur les organismes marins, travaux qui ont démontré les principales voies métaboliques selon lesquelles ces organismes fonctionnent. On a besoin de plus de travaux sur la chimie des enzymes des couches superficielles des organismes marins, surtout sur le transport des métabolites au-dedans et au-dehors des cellules du phytoplancton. Dans le cas d'organismes plus grands, on a aussi besoin de connaître davantage leur susceptibilité à des traces de polluants par transport à travers les membranes branchiales et par ingestion.

Le transfert chimique de substances dans le réseau alimentaire de la mer et l'altération des composés par divers processus métaboliques peuvent aider le biologiste à identifier les voies métaboliques du débit énergétique (e.g. Ackman 1973); des études de ce genre poursuivies sur le terrain et des analyses de contenus stomacaux peuvent être fastidieuses. De plus, l'action biologique de certains composés manufacturés à un niveau trophique sur des animaux à un autre niveau trophique peuvent avoir d'importantes répercussions sur le contrôle naturel et artificiel des processus biologiques de la mer. C'est ce que laisse entendre un travail préliminaire sur les hydrates de carbone naturels du phytoplancton, qui peuvent être un facteur déterminant de la proportion des sexes chez des crustacés du zooplancton (Youngblood et al. 1971).

Des méthodes chimiques servant à détecter la présence de petites quantités de matériel vivant dans l'océan (e.g. Holm-Hansen et Booth 1966), couplées à des analyses indiquant le taux de croissance instantané d'un organisme (e.g. Sutcliffe 1970), sont des méthodes d'approches importantes dans

l'établissement de paramètres analytiques pour les processus d'océanographie biologique. De plus, il faudra développer de meilleures méthodes pour identifier et quantifier les microconstituants des matières organiques solubles et particulaires dans la mer. On a fait des progrès dans la détermination de l'origine de ces matériaux à l'aide du rapport des isotopes stables $^{13}C/C^{12}$ (e.g. Williams et Gordon 1970), mais il faudra une analyse biochimique plus poussée de leur origine avant de pouvoir déterminer leur importance dans les réseaux alimentaires marins.

En résumé, le rôle de l'océanographie chimique à l'endroit de l'océanographie biologique est fondamental pour la compréhension de plusieurs phénomènes dans la mer. Ceci inclut l'acquisition de plus de connaissances chimiques en vue de mieux comprendre les actions et réactions physiques et biochimiques d'organismes individuels, et d'en arriver à une meilleure description de la structure des communautés (transferts des réseaux alimentaires) et de l'habitat des communautés, tant benthiques que pélagiques.

4.4 Interrelations entre les océanographes biologistes

En essayant de comprendre la biologie des océans, l'océanographe biologiste se trouve en face de problèmes beaucoup plus complexes que ceux du monde de la chimie et de la physique. Non seulement doit-il dépendre de l'exactitude des données et des interprétations physiques et chimiques, il doit également comprendre les réactions biologiques des organismes vis-à-vis leur environnement physique et chimique.

Les écologistes terrestres ont l'avantage que leurs sujets d'étude sont plus facilement accessibles; comme résultat, on a publié des travaux importants et mis de l'avant certaines théories en écologie terrestre. L'écologie des océans souffre de la difficulté d'étudier un habitat sous-marin inhospitalier et, en partie du moins, des théories des écologistes terrestres sur la façon dont la nature entière devrait être.

Il est évidemment difficile de poursuivre une carrière scientifique sur une plate-forme en mouvement continuel, et d'examiner une vie située à une profondeur de plusieurs milles, et dont une grande partie n'est que rarement vue. On peut ajouter à ceci des notions préconçues à l'endroit de la planète Terre, qui aurait dû être appelée plus correctement planète Eau, vu la vaste étendue des océans. Ainsi, les plantes et les animaux terrestres ont tout d'abord à lutter, pour survivre, contre les forces de la gravité; par opposition, les organismes pélagiques croissent dans le berceau amniotique de la mer. Les organismes terrestres utilisent des matériaux structuraux, tel que les os et le bois; ils doivent donc dépenser plus d'énergie pour se déplacer. Par contre, les organismes marins ne dépensent que peu d'énergie sur les matériaux structuraux — les os sont petits, et la cellulose est un constituant mineur des plantes marines. Pour ce qui est du mouvement, on a calculé que la nage requiert en général moins d'énergie que la locomotion terrestre (Gold 1973). De plus, les habitats biologiques sur terre sont nombreux et variés, et le nombre d'espèces y est beaucoup plus grand que dans la mer.

Dans des environnements terrestres, l'énergie solaire est facilement accessible; dans la mer, ce n'est qu'une fraction de la colonne d'eau qui reçoit la lumière dont dépend toute la vie océanique. Par contraste, cependant, les substances nutritives, sous forme de nitrates et de phosphates, sont généralement beaucoup plus accessibles aux plantes dans la mer que sur terre. Pour assurer leur survivance dans la mer, les organismes sont petits et nombreux, ou croissent rapidement pour atteindre une grande taille qui les protègera contre les prédateurs.

Ces quelques remarques démontrent que les écologistes aquatiques doivent formuler leurs propres théories à partir d'un monde assez différent de celui des écologistes terrestres. Le travail de l'océanographe peut être facilité du fait qu'il existe certaines analogies entre les lacs et les océans. Cependant, même un observateur non averti doit se rendre compte de la richesse des rivages de la mer en organismes comparativement à la nudité relative des rivages des lacs. D'autres différences écologiques proviennent de la diversité des organismes en fonction de la profondeur et de l'écologie pratiquement sans fond de la plupart des milieux pélagiques des océans comparativement au peu de distance entre le fond et la surface dans la plupart des lacs.

Comme nous l'avons souligné dans la deuxième section de ce rapport, les océanographes biologistes ont passé d'une période de systématique et d'analyse des substances nutritives à une période plus récente au cours de laquelle ils ont mis en doute certaines interrelations entre les substances nutritives, les plantes et les animaux. Dans cette évolution, les disciplines plutôt rigides de l'océanographie biologique ont commencé à se détraquer. Par exemple, des personnes qui étaient jadis considérées comme des spécialistes en productivité primaire se trouvent maintenant comme suspendues dans le vide. Les progrès les plus impressionnants en océanographie biologique ont été réalisés grâce à la coopération interdisciplinaire de différents spécialistes, ou encore à la compétence d'une seule personne qui a réussi à combler les vides entre différentes disciplines scientifiques.

Les domaines spécifiques de recherches qui requièrent une interraction parmi les océanographes biologistes sont décrits en partie à la figure 3. Ainsi, l'alimentation et la croissance de divers

animaux et plantes, l'efficacité écologique à différents niveaux trophiques et le nombre d'étapes intermédiaires et de mécanismes rétroactifs au sein du réseau alimentaire de la mer requièrent tous des études plus poussées. De plus, on sait que les propriétés d'un écosystème diffèrent souvent de celles des communautés de plantes et d'animaux. Sous ce rapport, on peut observer, par exemple, des différences de productivité finale entre deux écosystèmes, alors que leur productivité primaire diffère peu. Plus importante en termes de besoins de recherche, cependant, est l'aptitude à comprendre comment les écosystèmes se maintiennent devant des perturbations majeures, tant naturelles, comme le climat, qu'artificielles, comme la pollution et la pêche trop intensive. Une nouvelle méthode d'approche à ce problème est l'emploi de l'analyse spectrale (Platt et Denman, sous presse). Cette méthode est fondée sur l'analyse des fréquences des cycles dominants d'un système et sur la découverte de leurs causes. Une compréhension des oscillations des communautés en relation avec la stabilité de l'écosystème peut expliquer certains changements à long terme dans la biocoenose marine et l'influence de l'homme sur les ressources renouvelables des océans.

4.5 Océanographie biologique et pêches

4.5.1 *La gestion des pêches* — Au début du présent travail, nous avons défini l'océanographie biologique comme étant l'étude de la biologie des océans, y compris les communautés benthiques et pélagiques. Le dictionnaire (Webster 1966) définit le terme « pêches » au sens du présent rapport comme étant « the business of catching, packing or selling fish or other products of lakes, rivers, or the sea. » D'après cette définition, il est évident que la science des pêches doive inclure plusieurs aspects économiques et techniques de la capture et de la commercialisation du poisson qui n'ont aucun rapport avec l'océanographie biologique. Cependant, sur la question de la capture du poisson, on a développé un certain nombre de théories bien documentées, dont certaines incluent des paramètres biologiques.

La théorie utilisée le plus généralement dans la gestion des pêches est celle de Beverton et Holt (1957) (voir aussi Baranov 1918; Ricker 1940). Leur modèle décrit l'état d'équilibre moyen des prises en terme de biomasse de la population pêchable, elle-même fonction des coefficients de recrutement, de croissance et de mortalité naturelle. Ils supposent que ces coefficients sont constants et indépendants des facteurs ambiants (abiotiques) ou trophodynamiques (biotiques). Un deuxième modèle, encore plus simple, décrit par Schaefer (1954), met de côté les coefficients distincts de recrutement, de croissance et de mortalité naturelle, et considère l'accroissement de la population vers une grandeur maximale comme dépendant uniquement de la taille de la population à un moment donné.

Ces deux théories ont donné naissance à bien des élaborations et des discussions. On peut dire en toute sincérité que leur application a été utile tant qu'il s'est agi de stratégies de gestion d'espèces uniques dans un stock sous-exploité. Par contre, leur utilité future comme modèles à fonction prédictrice est limitée par les considérations suivantes:

1. Ces modèles considèrent le poisson seulement et non son environnement. Ce dernier est en général considéré comme étant dans un état d'équilibre. Ce qui veut dire que les facteurs tant biotiques qu'abiotiques ne changent pas suffisamment sur une longue période de temps pour affecter les poissons; le nombre de poissons et le nombre de pêcheurs sont donc considérés comme les principaux facteurs de contrôle du rendement.

2. Les modèles ne portent que sur une espèce individuelle et ne tiennent pas compte de l'effet que peut avoir la pêche sur une autre espèce (pêchable).

3. Les coefficients employés (y compris les embellissements ultérieurs, un autre terme pour fécondité) sont considérés comme constants et, comme tels, indépendants des contraintes du milieu.

Même avec ces restrictions, il serait injuste de dire que les modèles de populations de Beverton/Holt et de Schaefer n'ont pas été utiles. Ils peuvent même continuer, avec certains raffinements, d'être un outil de gestion des pêches pour plusieurs années à venir. En fait, si nos besoins portent sur des prédictions à court terme (e.g. 1 an) il n'y a pas de raison que des modèles de ce genre ne puissent contribuer à la gestion des pêches. Cependant, les restrictions des paragraphes 1–3 ci-haut mises à part, il est évident que tout le problème des pêches a changé considérablement au cours des 2 dernières décennies. Au point de vue politique et économique, la gérance des pêches doit maintenant avoir à sa disposition des connaissances beaucoup plus précises qui lui permettront de faire:

1. Des prédictions à plus long terme des *stocks* et du *recrutement* dans une pêcherie particulière.

2. Une évaluation du *rendement biologique total* d'environnements particuliers, en termes de ressources exploitables en poissons par opposition au rendement soutenu d'une espèce en particulier.

La première de ces conditions résulte du besoin économique de mieux planifier les opérations de pêche en rapport avec le déploiement de la flottille, le développement des usines et le marketing. L'affaissement graduel d'une pêcherie, par suite de facteurs climatiques ou de l'apparition de nouveaux stocks, doit pouvoir être prédit sur la base d'une compréhension de la biologie de la mer. La seconde condition est dictée surtout par des besoins politiques, là où il y a concurrence entre différents

types de pêche dans une même région. Par exemple, on peut être forcé de laisser tomber la préservation d'une pêcherie traditionnelle s'il est biologiquement plus productif de récolter une autre partie du spectre des protéines dans la mer (i.e. la récolte de niveaux trophiques plus bas, tels que le capelan, peut avoir un rendement en protéines plus élevé, mais en même temps causer une diminution du rendement de la morue).

Il est possible que des solutions scientifiques aux deux problèmes de *stock et recrutement*, et *rendement total* soient trouvées grâce aux efforts des océanographes biologistes.

Les scientifiques en pêcheries ont cru pendant longtemps que le recrutement de nouveaux poissons dans une pêcherie était en quelque sorte proportionnel à la grandeur du stock existant. On s'est rendu compte, au cours de recensements du début que, s'il existait une relation de cette nature, elle était probablement complexe. L'énoncé du problème par Ricker (1958) comprend une série de courbes, allant d'une relation linéaire de 1 à 1 à une courbe en forme de dôme dans laquelle le recrutement est maximal à un point situé entre de petits et de grands stocks. Les données sur lesquelles l'hypothèse d'une relation stocks-recrutement est fondée sont très éparpillées. Sauf dans certains cas où des relations sont connues de façon précise entre les stocks et le recrutement (e.g. chez les salmonidés), on peut tout aussi bien argumenter qu'il n'y a réellement pas de relation valide entre le stock et le recrutement. Cette hypothèse était évidente pour Hjort (1914), quand il fit remarquer qu'une seule classe d'âge abondante de harengs pouvait déterminer l'abondance (stock) du hareng pour plusieurs années. L'observation de Hjort se répète plusieurs fois dans les statistiques de différentes pêcheries, où des augmentations soudaines d'abondance n'ont pas de relation avec les stocks antérieurs de l'espèce en question.

Les connaissances que nous possédons maintenant indiquent que c'est la période de survivance des larves qui est la plus critique dans le recrutement des poissons qui constitueront un nouveau stock (Gulland 1965; Cushing 1972). Les preuves aboutissant à cette conclusion proviennent à la fois d'études sur le terrain et d'expériences en laboratoire sur l'élevage des larves (e.g. Shelbourne 1957; Bannister et al. 1973; Lasker 1974). Ces observations, de même que d'autres, ont conduit à la théorie que le facteur le plus important qui règle le nombre de poissons dans la mer résulte d'une relation unique, viz, « l'accord ou le désaccord de la production de larves et de celle de leur nourriture » (Cushing 1972). Bien que cette relation puisse être décrite en termes aussi simples, le processus qui règle l'apparition de la nourriture et des larves de poisson en même temps et au même endroit est fort complexe. En termes d'océanographie biologique, toutefois, ce processus représente un domaine d'étude beaucoup mieux défini que bien des problèmes de relations de réseaux alimentaires.

Les facteurs abiotiques susceptibles d'influencer l'apparition simultanée des larves de poisson et de leur nourriture sont la vitesse du vent, la température et les courants océaniques; les facteurs biotiques incluent la période de fraie, le développement de l'oeuf, l'occurrence de poussées planctoniques et le degré d'inégalité de répartition du plancton. Tous ces paramètres peuvent être mesurés — en fait, le problème de mesure en est surtout un de coût en regard de l'importance de prédire les nombres de poissons. Sous ce rapport, cependant, il serait peut-être possible de lancer un programme de recherches intensives en vue de comprendre les facteurs de survivance des larves, pour ensuite établir un programme de contrôle continu fondé sur plusieurs indices de l'environnement qui peuvent être mesurés facilement et à peu de frais. L'usage d'indices pour la prédiction des pêches a d'ailleurs déjà été essayé (e.g. Bell et Pruter 1958; Sutcliffe 1972). Cependant, on admet dans ces deux travaux que les indices de production de poissons, sans connaître les processus impliqués, peuvent être trompeurs. C'est pourquoi nous suggérons ici que les océanographes biologistes s'efforcent d'abord de comprendre les mécanismes qui règlent le nombre de poissons et qu'ensuite ils appliquent ces connaissances à un contrôle continu d'indice (ou d'indices).

Le deuxième facteur important de la gestion future des pêches est la connaissance du *rendement total* en poissons. Le problème ici est de comprendre quelles stratégies appliquer (tant techniques qu'économiques) afin d'obtenir un rendement maximal en protéines ou de protéger les pêcheries de valeur (en dollars) contre une exploitation par d'autres pêcheries qui cherchent à maximiser le rendement en protéines. C'est donc un problème trophodynamique, à espèces multiples, de gestion des réseaux alimentaires, y compris une connaissance des paramètres biotiques et abiotiques.

L'approche à la gestion des pêches par des modèles qui considèrent le *rendement total* en poissons a été essayée par un certain nombre d'auteurs. Selon l'approche la plus simple, la production primaire du phytoplancton est liée à l'accessibilité totale de la ressource en poissons récoltables dans un certain nombre d'étapes de la chaîne alimentaire. Elle est liée aussi à l'efficacité avec laquelle l'énergie est transférée à chacune de ces étapes. Ce type d'approche est décrit dans les articles de Schaefer (1965), Ryther (1969) et Ricker (1969). Les modèles de Schaefer et de Ryther sont affaiblis par des hypothèses à l'effet que le flux énergétique traverse directement des niveaux

trophiques entiers, alors qu'en fait, la position trophique de plusieurs animaux marins peut varier avec le temps; de plus, les mécanismes de rétroaction qui ne sont pas inclus dans ces modèles peuvent jouer un rôle important en rehaussant l'efficacité générale du système. Ces facteurs sont inclus dans le modèle de Ricker, mais le manque de considération de nouvelles ressources halieutiques conduit à un estimé conservateur de la production globale en poissons. Le modèle de chaîne alimentaire est tout au plus une évaluation générale des potentiels halieutiques de l'hydrosphère; mais, dans sa forme présente, il a peu de valeur comme outil de gestion. Ces modèles requièrent un apport considérable d'information en océanographie biologique.

Une troisième type de modèle de pêcheries est caractérisé par le travail de Paloheimo et Dickie (1970), Kerr et Martin (1970), et le résumé récent du travail de Steele (Steele 1974b). Ici, les auteurs considèrent le réseau alimentaire de la mer, en même temps que les diverses voies métaboliques du flux énergétique et les réactions biologiques de différents organismes dans le milieu marin. Bien que cette approche semble prometteuse, les modèles requièrent de grandes quantités de données, y compris des observations sur le terrain et en laboratoire. Leur utilisation dans la gestion des pêches est encore du domaine de l'avenir. Ils pourront éventuellement servir à la préparation de scénarios d'événements alternatifs plutôt qu'à la prédiction du cours absolu de la nature. Ces modèles dépendent largement d'une compréhension de la biologie des océans, et une illustration concise (fig. 4), tirée de Steele (1974b), permet de démontrer l'importance des études de réseaux alimentaires, par opposition à des études

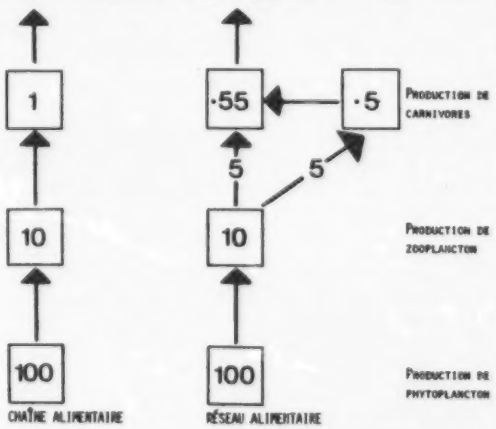


FIG. 4. Un exemple simple d'une diminution d'apport énergétique causée par bifurcation dans une chaîne alimentaire, en supposant une efficacité de 10% dans le transfert à travers chaque niveau de production (extrait de Steele 1974b).

plus simples d'efficacité des chaînes alimentaires. Dans cette figure, on a divisé le flux énergétique en deux depuis le niveau de production secondaire, et retourné au niveau des carnivores primaires, jusqu'au flux énergétique principal. Ce faisant, l'énergie a traversé un échange trophique supplémentaire, sans atteindre un nouveau palier trophique où elle aurait pu se transformer en une ressource récoltable. Ceci pourrait se produire si des zooplanctontes se nourrissaient comme des herbivores, et si d'autres se nourrissaient comme des omnivores et consommaient à la fois le phytoplancton et le zooplancton herbivore.

Finalement, on peut mentionner un quatrième type de modèle représenté par les travaux de Margalef (1968) et de Regier et Henderson (1973). Dans ce modèle, on suppose que les écosystèmes marins ont certaines propriétés du système entier (par opposition aux composantes du système), et que ce sont les propriétés du système qui importent pour comprendre les stratégies de gestion. Ainsi, le « bien-être » d'un écosystème est considéré en termes d'indices tels que la diversité, la stabilité, et l'élasticité. Le but ultime de ces modèles est de mesurer les effets du stress (naturel et artificiel) sur les pêcheries. Ces modèles sont encore jeunes, et leur utilité n'est pas du tout prouvée; néanmoins, on devrait avoir un esprit ouvert à l'endroit de recherches de cette nature: elles peuvent éventuellement croître et fournir à la gestion des sous-composantes efficaces (voir aussi commentaires sur les modèles dans l'Introduction de ce rapport).

Pour conclure cette section, on peut affirmer que l'océanographie biologique a un rôle nouveau et important à jouer dans la gestion des pêches, tant pour prédire les nombres de poissons d'une espèce particulière que pour améliorer le rendement total des ressources vivantes de nos mers. Dans ce contexte, la figure 5 est un résumé de l'utilisation actuelle et potentielle de modèles dans la gestion des pêches.

4.5.2 Pêcheries en puissance — À la section précédente, nous avons analysé le rôle de l'océanographie biologique par rapport aux pêcheries existantes. Si l'on en juge par plusieurs rapports, cependant, il est évident que la situation actuelle des pêches peut changer assez rapidement d'une récolte de produits halieutiques conventionnels à une récolte de ressources nouvelles. On verra probablement une expansion des pêcheries existantes pour inclure de nouveaux produits, tels que le poutassou de l'Atlantique Nord, de petits poissons tels que le capelan, le balaou et le lançon, de nouvelles méthodes de récolte de l'encornet de du zooplancton (en particulier du krill antarctique), et finalement une expansion des pêcheries de mollusques. C'est ce que semblent démontrer les expéditions soviétiques

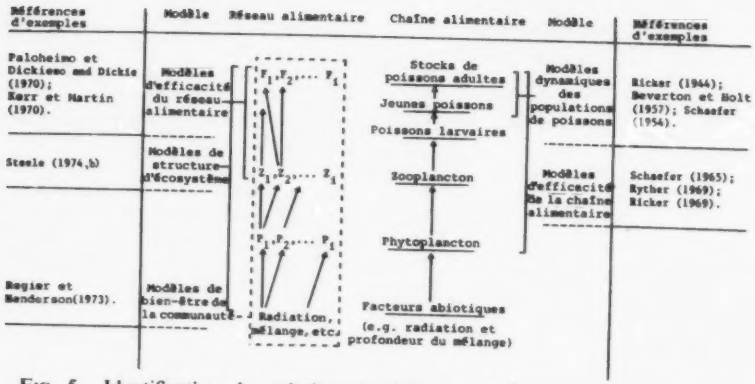


FIG. 5. Identification des relations trophiques utilisées dans l'élaboration de modèles de pêches (extrait, avec modifications, de Dickie 1973).

et japonaises de pêche de krill dans l'Antarctique; les débarquements d'encornet au Japon, qui représentent jusqu'à 15% des prises totales de ce pays; des prises annuelles d'environ 200,000 tonnes de lançon dans l'Atlantique Nord-Est; et des prises de 250,000 tonnes de capelan dans l'Atlantique Nord-Ouest. On peut ajouter à ceci des pêcheries potentielles telles que celles de lanternes dans toute l'hydrosphère, de lussions en Atlantique Nord, de crevettes sergestides dans le Pacifique Nord, de thon (*Allothunnus fallai*), de balaou et de merlu dans les mers du sud. Allant même plus loin dans les pêcheries de l'avenir, on peut raisonnablement songer à réévaluer la récolte possible du zooplancton des océans (Parsons 1972). Sous ce rapport, la densité des copépodes dans les couches dispersantes peu profondes du Pacifique Nord pourrait éventuellement en faire une ressource récoltable (Barraclough et al. 1969).

Sur la base d'une revue détaillée des ressources en protéines marines, Gulland (1970) offre des suggestions sur le rendement potentiel de ces nouvelles pêcheries. Ses estimés, en millions de tonnes par année, sont: zooplancton (e.g. euphausides, galathéides, etc.) > 50; petits poissons (e.g. lanternes, balaous, lançon) >100; encornet, 10–100; et nouvelles pêcheries de mollusques benthiques, 10–25. Si l'on fait la moyenne de ces estimés, et si on les ajoute aux 100 millions de tonnes prédites pour les pêcheries conventionnelles, on arrive à une récolte de protéines dans les océans de plus de 300 millions de tonnes, dont 70% proviendrait en grande partie de stocks inexplorés (fig. 6). Ceci equivant à cinq fois la récolte mondiale courante et est peut-être un estimé conservateur.

Le point important pour l'océanographe biologiste n'est pas tant la grandeur de la récolte totale, que la proportion de la récolte qui pourrait provenir de pêcheries nouvelles. Nos connaissances actuelles sur

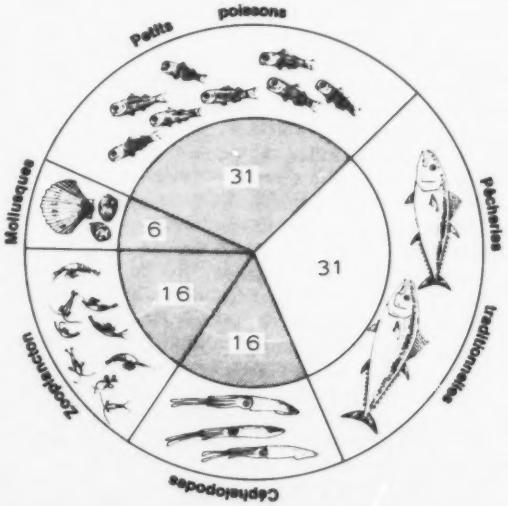


FIG. 6. Distribution proportionnelle des pêcheries mondiales potentielles (la partie ombrée indique la région où existe un manque considérable de connaissances en océanographie biologique applicables à une nouvelle pêcherie).

l'écologie de l'encornet, du zooplancton et des petits poissons dans les océans ne nous permettent pas de faire des prédictions sur l'utilisation de ces organismes, et ne peuvent guère nous aider à les capturer. Le climat océanographique dans lequel ils vivent, la formation de bancs et leur comportement migratoire sont mal connus. De plus, une grande partie de ces stocks de « poissons » se rencontrent en haute mer, au large des plateaux continentaux; nous ne pouvons donc dépendre de l'expérience des pêcheurs traditionnels pour localiser des régions pêchables. On aura grand besoin de

l'océanographe biologiste pour expliquer le climat océanique, les cycles biologiques et la cause des variations à long terme des stocks.

4.5.3. Aquiculture — L'examen scientifique de l'aquiculture en mer est chose tellement nouvelle qu'il n'y a pas d'experts dans ce domaine, sauf les quelques personnes qui ont prouvé, presque sans aide, leur aptitude à cultiver des quantités commerciales de plantes et d'animaux marins dans des conditions contrôlées. Dans cette approche expérimentale à l'aquiculture marine, on utilise généralement trois types d'enceintes pour maintenir les animaux. Il y a les cultures avec « lots d'alimentation », qui utilisent des casiers ou des enclos dans lesquels on donne aux animaux une nourriture préparée alors que ceux-ci vivent dans des eaux naturelles; cultures en « pâturage », dans lesquelles les animaux (e.g. mollusques) se nourissent à même les richesses naturelles du phytoplancton de l'eau et « systèmes de culture clos » dans lesquels l'eau est recirculée et où la température est généralement contrôlée (Joiner 1971). Toutes ces cultures requièrent généralement un contrôle de la qualité de l'eau. Comme ce contrôle dépend ordinairement de paramètres chimiques et biologiques (e.g. oxygène, plancton, pH, etc.) il cadre bien dans le rôle de l'océanographe biologiste. Dans le cas de « cultures en pâturages », il est important pour les océanographes biologistes d'évaluer l'abondance de la nourriture (phytoplancton) et de déterminer la dispersion et la survivance des larves. De plus, la présence périodique d'organismes causant les eaux rouges est toujours une menace pour les populations, naturelles et cultivées, d'organismes marins dans les habitats côtiers. On a besoin de plus de recherches en océanographie biologique sur l'incidence de ces organismes.

Les sites choisis pour des projets d'aquiculture devraient être étudiés à fond au point de vue biologique, avant d'entreprendre un projet. On sait très bien qu'il existe dans certaines régions côtières de grandes populations naturelles de ressources récoltables (e.g. pétoncles, huîtres, algues marines), alors que dans des milieux contigus il peut y avoir absence complète des mêmes espèces. Une définition exacte de ce qui constitue un bon environnement biologique pour les espèces littorales serait fort utile à la planification des projets d'aquiculture. Les définitions qu'on a de l'environnement sont essentiellement des descriptions de communautés, comme celles présentées par les écologistes benthiques, mais qui n'ont jamais été développées en termes de relations causales. Sans une connaissance approfondie de ces relations, il sera difficile de donner le statut de science au contrôle exercé sur la nature par l'aquiculteur.

Finalement, dans le recyclage des déchets (Section 5.4), il est possible que la chaleur, les eaux usées et les effluents de papeteries puissent tous contribuer à des projets d'aquiculture utiles à l'homme. On a fait des travaux préliminaires dans ce domaine (e.g. Ryther et al. 1972), mais il faudrait y consacrer beaucoup plus de fonds.

4.6 Océanographie biologique et pollution de la mer

Ce n'est que récemment que le problème de la pollution de la mer a retenu l'attention générale. On a donc peu de données sur lesquelles établir des relations de cause à effet, ou même déterminer jusqu'a quel point les polluants se sont accumulés dans l'hydrosphère par suite des activités de l'homme. En fait, après certaines études du début, on a mis en doute le mot « polluant » même, quand on s'est rendu compte que les fortes concentrations de mercure dans les grands poissons océaniques étaient un phénomène naturel, qui n'avait aucune relation avec l'emploi industriel du mercure. De plus, comme Dickie (1973b) le souligne, une définition générale d'un polluant comme étant un agent de stress sur l'environnement est difficile à isoler des causes naturelles, telles que le climat, les émissions volcaniques et l'infiltration d'hydrocarbures. Dans la littérature sur les polluants, les éléments ou composés généralement considérés sont: (1) les métaux lourds (de quelque source que ce soit); et (2) les composés organiques, y compris ceux manufacturés par l'homme, et les matériaux naturels, tels que les égoûts et les hydrocarbures minéraux.

L'étude scientifique des polluants dans l'hydrosphère a été attaquée de trois directions générales. La première a été un relevé, en grande partie chimique, de la quantité d'une substance trouvée dans un échantillon; les échantillons analysés ont été l'eau, le sédiment, la faune et la flore. Le seul rôle que peut jouer l'océanographe biologiste dans cet « inventaire » est celui d'identifier les organismes analysés, particulièrement les membres de la communauté planctonique.

La deuxième approche à la recherche sur la pollution de la mer a été l'étude du transfert des polluants. C'est un problème physico-chimique et biologique complexe. Il peut s'agir du transport des polluants par l'atmosphère ou les courants marins; du transfert dans un sens physico-chimique, tel qu'à l'interface vase-eau ou par altération chimique d'une substance d'une phase inorganique à une phase organique (e.g. mercure à mercure-méthyle); et du transfert dans un sens biologique, par les plantes et les animaux dans la chaîne alimentaire de la mer. Ce dernier transfert est du domaine de l'océanographe biologiste, et il a donné lieu à une récente controverse.

Le point discuté est de savoir si ces transferts dépendent surtout de la position trophique et de l'âge d'un organisme, ou s'ils sont caractéristiques d'organismes individuels en termes de surfaces respiratoires, contenu en graisse, voies métaboliques d'excrétion, etc. Les indications qu'on a à l'heure actuelle suggèrent que, chez certaines créatures au sommet de la chaîne alimentaire (e.g. oiseaux et mammifères marins), la concentration d'un polluant dans l'animal résulte d'une accumulation par la chaîne alimentaire, s'il s'agit d'une chaîne alimentaire « structurée ». D'autre part, dans le cas de chaînes alimentaires « non structurées » et dans celui de plantes et d'animaux qui, en vertu de certaines propriétés, ont tendance à accumuler les polluants, la concentration est fonction de l'organisme individuel. Nous indiquons à la figure 7 la différence entre les chaînes alimentaires « structurées » et « non structurées » pour un pélican, qui obtient sa nourriture d'une source unique, et pour un goéland qui se nourrit partout. Dans le premier cas, l'accumulation d'un polluant au bas de la chaîne alimentaire entraînera un transfert vers le haut, à des concentrations qui iront en augmentant, si le taux d'excrétion du polluant est inférieur à son taux d'ingestion. Dans une telle chaîne alimentaire, la distribution d'un polluant peut entraîner l'extinction d'une population entière de l'espèce, car tous les animaux obtiennent leur nourriture de la même source. Dans une chaîne alimentaire non structurée, l'animal se nourrit d'une grande variété d'aliments. Il peut être empoisonné (pollution aigüe) par une de ces sources alimentaires, mais cela n'affecterait pas la population entière, seulement les animaux qui utilisent cette source particulière de nourriture.

La détection de différentes sortes de chaînes alimentaires dans l'environnement marin est une mission primordiale de l'océanographe biologiste dans la recherche sur la pollution. Par ailleurs, les mécanismes de concentration des polluants par des organismes individuels, tel que décrit plus haut, concernent les physiologistes et biochimistes, et ne sont pas d'intérêt direct pour l'océanographe biologiste.

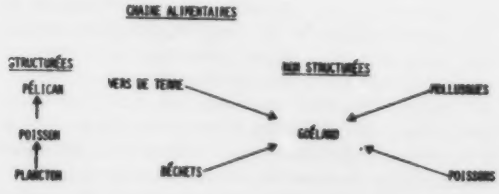


FIG. 7. Chaînes alimentaires marines structurées et non structurées.

La troisième approche à la recherche sur la pollution de la mer consiste à déterminer les effets du polluant sur les biocoenoses marines. Cette approche a souffert jusqu'à un certain point de l'abus d'une méthode de recherche, nommément, la détermination de la toxicité aigüe par une réponse à la DL_{50}. Dans ces études, il a généralement suffi d'établir la dose d'un polluant requise pour tuer 50% de la population (i.e. la dose létale pour 50% de la population = DL_{50}) sur une courte période (e.g. 48 h). Une fois établie la concentration qui cause ces mortalités, on suggère une concentration « sûre », ordinairement de deux ordres de grandeur inférieurs à la DL_{50}. Comme c'est là un chiffre défini avec un certain fondement scientifique, les gens de loi ont eu tendance à l'adopter en établissant les standards de consommation alimentaire. Bien que cette approche satisfasse la bureaucratie, elle ne reflète pas nécessairement la réponse de la nature aux mêmes problèmes. En fait, on a démontré qu'à des concentrations de polluants bien inférieures à la réponse des grands animaux à la DL_{50}, il se produit des changements dans la composition du réseau alimentaire qui peuvent avoir de graves conséquences écologiques. C'est ainsi par exemple que, lors d'un examen récent de ce problème dans les cadres du programme de la DIEO (EPEC), il a été démontré qu'une concentration de 5 à 10 parties par milliard de cuivre dans l'eau de mer peut affecter le spectre entier des producteurs primaires, d'une distomée à une communauté de microflagellés. La signification de ce phénomène devient apparente par analogie à un environnement terrestre, où l'on transformerait un champ de blé en un champ de foin, avec toutes les conséquences d'une écologie animale modifiée. L'examen des effets chroniques lents des polluants, tels que métaux lourds et hydrocarbures sur l'écologie totale de la mer, est définitivement du domaine de l'océanographe biologiste.

En étudiant les problèmes de pollution de la mer, l'océanographe biologiste devrait être guidé à la fois par la nature scientifique du problème telle que discutée plus haut et par l'organisme d'où provient la demande l'information. Les organismes qui ont besoin d'aide en matière de pollution de la mer incluent les sociétés d'ingénierie (e.g. élimination des eaux usées), les corps d'hygiène publique (e.g. protection des baigneurs sur les plages), les cadres de gestion des pêches et les commissions des ports. Il faut dire que les problèmes auxquels ces organismes ont à faire face exigent une contribution de la part de différents scientifiques de la mer, sans nécessairement inclure des océanographes biologistes. Par exemple, la distribution en mer d'un effluent industriel est en grande partie un problème d'océanographie physique; les responsables de l'hygiène publique s'occupent de toxicologie et de méthodes de détection des toxines; la gestion des pêches s'intéresse à

l'écologie des espèces commerciales importantes, alors que les commissions des ports peuvent demander une étude d'impact de développements portuaires sur l'environnement. Ainsi, dans cette analyse des problèmes de quatre organismes, l'océanographe biologiste peut jouer un rôle seulement dans celui de l'écologie des pêches et de l'étude d'impact sur l'environnement.

4.7 Instrumentation, techniques et installations

On trouvera ailleurs dans ce texte, nous l'espérons, la justification d'une science et de programmes nouveaux. Nous voulons, dans cette section, étudier plus en détail l'instrumentation et la logistique nécessaires à l'exécution de ces programmes. Sous ce rapport, il est évident qu'on a consacré beaucoup d'efforts à la collecte de données en océanographie biologique, pour constater à la fin qu'elles n'avaient pas été recueillies avec suffisamment de précision pour être utiles, sauf en termes de changements relatifs. Ceci est particulièrement vrai de la plupart des données sur le plancton. On a utilisé des échantillonneurs qui ne prélèvent pas d'échantillons adéquats de la communauté planctonique et qui, souvent, ne donnent aucune indication de l'inégalité de la distribution ou encore de la répétabilité de la technique d'échantillonnage. Ainsi, une première condition est d'exercer un contrôle plus serré sur la collecte de toutes données biologiques et d'utiliser davantage des étalons biologiques et des procédures d'intercalibrage.

En vue de résoudre le problème de la distribution inégale du plancton, il est nécessaire de développer des échantillonneurs in situ qui peuvent être opérés et contrôlés de façon continue de navires en marche. Dans ce domaine, il y a eu récemment des développements encourageants avec les compteurs de plancton toués (Longhurst et al. 1966; Boyd et Johnson 1969). De plus, il semble possible de développer des électrodes à spécificité ionique permettant l'analyse in situ de substances nutritives à l'aide de réactions enzymatiques spécifiques de sensibilité suffisante pour l'analyse de l'eau de mer. Les mesures continues de profils de température en fonction de la profondeur (XBT) sont maintenant routinières. Un instrument semblable a été mis au point pour mesurer l'atténuation de la lumière (Striffler 1974). On a cueilli un grand nombre de données à l'aide de l'enregistreur planctonique Hardy (Glover 1970). On est à modifier cet appareil pour lui permettre de fonctionner sur des navires de plus grande vitesse et de faire la collecte simultanée de variables biologiques supplémentaires. Idéalement, plusieurs de ces enrégistreurs devraient être placés sur des navires marchands; ceci, en soi-même, pose des problèmes de logistique: ammasser et distribuer les appareils et les données, et entraîner les équipages au fonctionnement de ces appareils.

Pour la détection d'organismes plus grands on devra mettre au point plusieurs types d'appareils acoustiques. Ceux-ci devraient inclure divers sonars à haute fréquence, l'holographie acoustique et le balayage par secteurs. Le premier type d'appareil existe déjà sur le marché et peut servir à détecter les organismes dans les couches dispersantes profondes et peu profondes (Bary 1967; Barracough et al. 1969). L'holographie acoustique en est encore au stade expérimental, mais peut éventuellement permettre d'identifier des espèces de poissons sur de grandes superficies. Le balayage par secteurs est une technique déjà utilisée expérimentalement dans des études sur le comportement et la migration des poissons. En plus d'équipement acoustique, il nous faut introduire des idées nouvelles dans la construction des grands filets, particulièrement pour la capture d'animaux dans la couche dispersante profonde, y compris le krill et l'encornet.

Les reconnaissances aériennes par avions et satellites peuvent également être utiles dans les programmes de contrôle continu en océanographie biologique. Les phénomènes locaux, tels que la remontée d'eaux profondes près des côtes, peuvent être observés d'un avion, alors que de grandes superficies peuvent être couvertes par des satellites, se servant d'un indice de couleur comme mesure de chlorophylle et de haute productivité biologique (e.g. Yentsch 1973).

L'atténuation de la lumière dans la mer continue d'être un problème fondamental pour les océanographes biologistes. On peut se procurer facilement divers types d'appareil peu dispendieux, mais des mesures précises ne peuvent être faites qu'à l'aide de photomètres à quantums 4π, actuellement construits seulement pour les mesures de photosynthèse. L'identification des espèces et le comptage d'organismes planctoniques ont été grandement facilités par l'établissement de centres de triage (e.g. CCIO). De nouveaux développements possibles dans ce domaine incluent l'identification par ordinateur, basée soit sur la reconnaissance des formes soit sur certaines propriétés chimiques spécifiques (e.g. hydrocarbures). Le traitement automatisé des données d'océanographie biologique n'est pas tout à fait aussi avancé que celui des données physiques et chimiques; la difficulté d'organiser les biologistes de façon qu'ils puissent utiliser un équipement de cette nature peut être résolue par l'amélioration de l'outillage d'échantillonnages in situ, qui, éventuellement, aidera le traitement des données.

Les propriétés spécifiques d'une communauté biologique sont parfois difficiles à mesurer in situ.

C'est le cas par exemple de la vitesse d'enfoncement du plancton, qui peut être mesurée expérimentalement, mais qui doit être vérifiée sur le terrain en présence d'effets turbulents. La gamme de taille des organismes planctoniques semble être un paramètre utile dans la construction de modèles de production, mais il faudra qu'on améliore considérablement l'outillage utilisé sur le terrain (e.g. holographie laser) avant de pouvoir mesurer cette propriété in situ. De plus, un problème inhérent à tout appareil in situ est la tendance à s'enrayer ou à mal fonctionner avec le temps. On aura donc besoin de recherches spécifiques en instrumentation pour permettre aux instruments optiques, aux sondes et aux compteurs de résister à la contamination par croissance d'organismes marins.

Des domaines d'intérêt pour l'océanographe biologiste qui n'ont pas encore reçu beaucoup d'attention incluent les interfaces air–eau et vase–eau. Dans ce dernier cas, la dépendance des grands stocks de poissons sur le fond des océans justifie beaucoup plus d'efforts dans l'étude de la biologie de cet habitat. Une des formes les plus primitives d'océanographie biologique pratiquée à l'heure actuelle est l'usage de la benne à sédiment pour étudier la biologie des communautés benthiques. Cet appareil détruit totalement l'habitat naturel et plusieurs animaux avant qu'ils puissent être examinés. L'appareil de l'habitat sous-marin peut apporter une solution à ce problème (e.g. Kinne 1970). Il semble cependant pour le moment que l'habitat sous-marin soit plutôt un véhichle expérimental dépourvu de mission qu'un véhicule de recherches sérieuses. La plupart de ces appareils sont probablement trop petits et pas suffisamment mobiles pour servir à la recherche benthique sur une haute échelle, bien qu'ils aient été des pionniers au domaine de la construction navale. On a besoin d'un véhicule qui a les proportions d'un sous-marin, construit spécialement pour l'étude de l'interface vase–eau du plateau continental.

Dans la recherche océanographique côtière, il est nécessaire d'avoir des régions spécialement désignées pour fins de recherche. Trop souvent, les besoins des agences immobilières et les développements portuaires ont dicté l'utilisation de l'environnement littoral. Il est impossible pour la recherche de concurrencer les intérêts financiers commerciaux et d'établir un sanctuaire maritime. On a besoin, en particulier, de régions dans lesquelles on pourra poursuivre des expériences d'aquiculture, de recyclage d'eaux usées et de communautés benthiques. De telles régions devront probablement être définies par législation plutôt qu'achetées sur un marché libre.

Finalement, il existe un besoin d'augmenter le nombre de manuels accessibles aux étudiants et aux personnes qui travaillent sur l'environnement marin (e.g. ingénieurs). Ces textes devraient porter sur l'identification des organismes marins, l'analyse de matériel marin, l'histoire naturelle et certains traitements théoriques d'océanographie biologique.

5. Prévisions des besoins canadiens dans le domaine de l'océanographie biologique

5.1 Programmes et institutions nationaux

Les connaissances de base accumulées par les océanographes sur la biologie des eaux maritimes canadiennes nous ont permis de comprendre, d'une façon générale, les macroespèces présentes, tant dans les communautés pélagiques que benthiques. De plus, il existe des relevés qui nous renseignent sur la forme générale des processus de production dans les régions d'intérêt majeur pour le Canada, tels le détroit de Georgie et l'estuaire du Saint-Laurent. Cependant, la superficie couverte par ces relevés est plutôt irrégulière, et il reste encore beaucoup de travail à faire, surtout en ce qui concerne les relevés benthiques.

Il n'existe pratiquement pas de relevés qui puissent être utilisés pour démontrer les changements temporels dans la biologie du milieu marin. Par exemple, les premières reconnaissances aériennes du plancton du détroit de Georgie ont été faites au cours des années 1930 par Hutchinson et Lucas (1931). Il y a un vide d'environ 30 ans jusqu'au moment où feu M. John Strickland entreprit des études de plancton à Nanaïmo en 1958. Des études semblables sur la côte de l'est commencèrent en 1965 à l'Institut Bedford. Dans les deux cas, cependant, il faut dire que ces recherches ont une nature exploratoire. Ces programmes étaient en grande partie motivés par une croyance qu'on ne pouvait effectuer une mesure continue de la biologie de nos mers tant qu'on n'avait pas bien compris ce qu'on voulait mesurer. C'est ainsi par exemple que plusieurs publications canadiennes en océanographie biologique décrivent des travaux sur une floraison phytoplanctonique dans une enveloppe de plastique (Antia et al. 1963), sur l'écologie d'une petite baie de la côte est de la Nouvelle-Écosse (e.g. Platt et Conover 1971) ou sur un seul organisme (e.g. Sameoto 1972). Des études de ce genre ont en commun un désir de mieux comprendre la biologie de la mer en limitant d'une façon quelconque le nombre de variables rencontrées. On impose des limitations, soit en choisissant une zone d'étude séparée (e.g. une baie ou un sac de plastique), en isolant un organisme, soit encore en utilisant un seul appareil et en se familiarisant entièrement avec ce qu'il nous révèle de l'environnement (e.g. Bary 1967). En général, ces programmes ont eu une importance fondamentale dans le développement de l'océanographie biologique, et on ne peut mieux reconnaître la contribution canadienne à la science qu'en

faisant remarquer la présence souvent sollicitée d'océanographes biologiques canadiens aux réunions internationales du monde entier.

Cependant, il est quelque peu illusoire de se flatter si, après avoir compris certains processus, nous ne les avons pas appliqués, mettant ainsi notre sagesse à l'épreuve. C'est à ce signe plus qu'à tout autre que nous pouvons qualifier l'océanographie biologique canadienne de recherche dépourvue de mission. Les connaissances acquises par les océanographes biologistes sont rarement appliquées à des problèmes pratiques tels que la gestion des pêches.

Dans la première section de ce rapport, nous avons identifié les voies divergentes qu'ont suivies au cours des ans, les experts en pêcheries et en biologie marine. À la Section 4.5.1 nous avons indiqué des différences fondamentales entre les diverses méthodes d'approche scientifiques au problème de la gestion des pêches et, à nouveau, montré que l'océanographe biologiste avait un rôle à jouer dans la solution des problèmes pratiques de gestion des pêches. Il découle de ces considérations que le besoin le plus urgent est, pour les océanographes biologistes, de se consacrer aux problèmes actuels et potentiels des pêches et, pour le scientifique en pêcheries, de reconnaître l'utilité de cette information nouvelle. Cet objectif ne peut être atteint tant que ne disparaîtra pas, au niveau de la gérance et chez les scientifiques des pêches, cette attitude persistante à ignorer le rôle de l'environnement dans la mesure de la productivité en poisson.

Un autre besoin primordial dans la programmation de l'océanographie biologique est d'instaurer un programme de contrôle continu, à fonction utilitaire, dans les laboratoires gouvernementaux du SPSM. Les résultats récemment publiés et obtenus à l'aide de l'enregistreur planctonique Hardy (Glover 1970; Robinson 1970) démontrent qu'il s'est produit des changements majeures dans l'éventail des organismes qui servent de nourriture aux poissons (zooplancton), au cours d'une période de 30 ans en Atlantique Nord-Est. On a observé des changements semblables dans le type et la productivité des eaux, lors d'un programme de contrôle continu poursuivi aux laboratoires de Plymouth, R.-U., sur une période de 40 ans (Russel et al. 1971; Southward 1974). Sans ces démonstrations d'un changement à long terme du climat biologique de l'océan, il y aurait eu probablement beaucoup de spéculation irréfléchie sur ce qui se produisait dans les différentes pêcheries de l'hémisphère nord. De plus, il aurait été impossible de construire des modèles biologiques à grande échelle du milieu marin intéressant le Canada, sans une banque de données biologiques récoltées de façon routinière.

Au Canada, la plus longue série de données océanographiques biologiques (à l'exclusion des statistiques de pêche) est celle concernant le plancton à la Station météorologique océanique « P » dans le Pacifique Nord-Est. Pour le zooplancton, ces collections commencèrent en 1956 (LeBrasseur 1965) et, pour le phytoplancton (chlorophylle *a*), en 1958 (Parsons 1960; Stephens 1970). Ces deux séries démontrent des changements à long terme dans le climat biologique de la mer. On se demande pourquoi de telles études n'ont pas été incluses dans d'autres programmes océanographiques canadiens. Les coûts en sont très bas, comparativement à ceux de bien des programmes de recherches, car la collecte de ces données est invariablement partie d'une autre mission (e.g. opération des navires météorologiques). En agriculture, en météorologie et en géologie, le Canada a formé des services pour le contrôle continu de certains paramètres et la poursuite de certaines reconnaissances routinières. Il n'y a pas de raison que des relevés de cette nature ne soient pas entrepris comme partie de la recherche aux stations du SPSM sur les deux côtes, puisqu'ils n'absorberaient qu'une très petite fraction des budgets actuels de ces laboratoires. En particulier, des régions sensibles, comme le détroit de Georgie, l'estuaire et le golfe Saint-Laurent, et les Grands bancs, devraient être l'objet de programmes de contrôle continu routinier.

Un second besoin de données routinières en océanographie biologique au Canada a trait au développement de grands modèles trophodynamiques à plusieurs espèces. Dans ce cas, les données requises sont étendues et coûteuses. On ne peut donc recommander leur collecte dans un programme à long terme de contrôle continu, tel que décrit plus haut. L'objectif d'un programme de ce genre est de fournir suffisamment de données sur des périodes suffisamment longues pour permettre l'élaboration de modèles mathématiques dont les prédictions pourront être vérifiées avec un minimum d'effort et de fonds supplémentaires. La principale difficulté est d'obtenir suffisamment de données quantitatives pour établir des coefficients de populations et des paramètres d'environnement, tels qu'on les observe dans des conditions naturelles. On a une idée du volume de données requises quand on considère les travaux qui on été récemment entrepris par les océanographes belges dans les cadres du programme « Math Modelsea » (1974) et par les chercheurs danois qui s'occupent présentement à étendre à plusieurs espèces le modèle de Beverton et Holt, et à y inclure une considération de la production primaire (Anderson et al. 1974; Ursin 1974). Les données du travail d'Ursin sont particulièrement bien définies. Il étudie 11 espèces de poissons d'importance commerciale qui constituent plus de 90% des débarquements totaux de la mer du Nord. La région considérée a une superficie de 5×10^5 km^2 et un volume de 5.5×10^3m^{13}. Les données requises

sont le poids corporel des poissons à des âges différents, le nombre de poissons, les coefficients de mortalité, la fraie, l'âge de la première maturité, le diamètre des oeufs, la biomasse zooplanctonique de trois types d'espèces, la biomasse algale et les données de production mensuelle. Avec un peu d'effort, on peut en arriver à des estimés raisonnables de tous ces paramètres, de même que d'autres, tels que les composantes physiques, si nécessaire.

Le programme « Math Modelsea » est le travail de quelque 250 scientifiques belges engagés dans un projet de recherche et de développement, à l'échelle nationale, sur l'environnement physique et biologique. Le programme est probablement le plus ambitieux du genre et reflète un degré admirable de coopération entre quelque 40 laboratoires. Le coût annuel du projet est d'environ un million de dollars, mais les bénifices du travail initial, en termes de décisions de gestion et de capacité de prédiction, sont déjà impressionants. Il n'y a pas de raison qu'un travail de cette nature ne puisse être tenté pour certaines eaux côtières canadiennes. Dans l'organisation d'un tel programme, le gouvernement belge a joué un rôle décisif par l'intermédiaire de son ministère de la Politique scientifique, bureau du Premier Ministre. Le programme n'a donc pas été établi pour servir les intérêts spéciaux d'une station maritime en particulier. De plus, le coordonnateur a été choisi avec soin de façon à assurer la meilleure coopération possible des instituts nationaux.

Au Canada, les grands programmes sont trop souvent établis, semble-t-il, pour servir les intérêts d'une institution locale, et il n'y a pas suffisamment de preuves que ces programmes jouiront de la coopération de tous les scientifiques intéressés. Le financement de grands programmes doit être considéré comme financement régional et non comme financement institutionnel. Deux programmes contemporains de grande envergure qui sont venus le plus près d'être une initiative gouvernementale sont ceux qui ont été proposés pour le golfe Saint-Laurent et le détroit de Georgie. Pour le premier, un coordonnateur indépendent a été recruté dans le milieu académique, ce qui a contribué à élargir la participation des institutions. Le ministère de l'Environnement a été reconnu comme organisme directeur, mais le projet fait appel à d'autres ministères gouvernementaux, aux gouvernements provinciaux, à 11 universités, aux Musées nationaux du Canada et à divers intérêts industriels. Pour le second programme, la coopération sur les aspects biologiques du programme n'est pas encore clairement définie.

L'aire géographique couverte par les recherches en océanographie biologique au Canada comporte des observations assez détaillées dans les eaux côtières, observations qui diminuent d'une façon presque exponentielle vers les eaux du large. C'est là probablement une distribution raisonnable de l'effort, mais les relevés futurs devraient tenir compte des besoins suivants:

1. Les régions côtières continueront d'être les plus susceptibles à une pêche intensive, à la pollution et à des projets d'aquiculture. C'est pourquoi, des programmes tels que celui du détroit de Georgie, de l'estuaire du Saint-Laurent (i.e. PBI et GIROQ), du golfe Saint-Laurent et des sections océanographiques sur le plateau néo-écossais sont celles qui méritent le plus d'observations sur le terrain.

2. On devra élaborer de nouveaux programmes dans l'Arctique et sur les Grands bancs en vue d'acquérir plus de connaissances pour la gestion dans des endroits où les activités présentes ou futures demandent une meilleure compréhension de l'environnement marin.

3. L'environnement du golfe d'Alaska et de la mer du Labrador joue un rôle important pour la survivance des saumons qui frayent dans les rivières canadiennes. De plus, de nouvelles pêcheries océaniques (voir fig. 6) pourraient être développées dans les régions du large qui intéressent le Canada. Il est donc nécessaire de mieux comprendre les facteurs de l'environnement biologique de ces régions.

4. Il faudra réserver des endroits côtiers spéciaux pour des expériences en océanographie biologique. Ces expériences comprendraient les travaux intensifs sur le terrain poursuivis dans la baie St. Margaret, N.-É., et l'inlet Saanich, C.-B. Ces études sont nécessaires pour comprendre les détails fondamentaux des interrelations en océanographie biologique, et on pourra les utiliser dans l'étude des grands problèmes des océans.

5. En aquiculture, les océanographes biologistes devront s'intéresser au choix des sites et à la biologie des organismes qu'on cultivera en utilisant la productivité naturelle de la mer (e.g. mollusques et algues marines). Les océanographes biologistes devront également s'intéresser à toute nouvelle tentative d'établissement d'espèces exotiques dans les eaux canadiennes.

Au niveau institutionnel, il semble y avoir fragmentation considérable de l'effort en océanographie biologique (tableau 1) parmi les laboratoires de recherches canadiens. On constate ceci tant au niveau universitaire, où il y a une certaine duplication d'effort dans des domaines étroitement associés, que dans les laboratoires gouvernementaux du SPSM. On a un exemple de la nécessité d'une planification plus générale, quand on constate que l'effort en océanographie biologique à l'Université Memorial de Terre-Neuve est moindre que celui de l'Université de Guelph en Ontario. Il semble absurde qu'une université située si près des Grands bancs ne reçoive pas plus d'aide pour des études benthiques dans cette région, surtout en ce qui concerne les navires océanographiques. L'établissement de deux écoles

en océanographie biologique dans l'estuaire du Saint-Laurent (Université Laval et Université du Québec à Rimouski) et de deux dans le détroit de Georgie (IOUCB et Université de Victoria) nécessite une coordination de l'effort en vue d'éviter la duplication et la fragmentation des fonds. Il est concevable, par exemple, qu'une institution se spécialise dans l'habitat benthique et une autre dans l'habitat pélagique. Une situation semblabe s'est développée parmi les laboratoires du SPSM, comme dans le cas de deux laboratoires en océanographie biologique, à Nanaïmo et à Vancouver-Ouest, situés l'un près de l'autre. Des différences dans la croissance des activités universitaires en océanographie biologique ont été le fruit du processus démocratique non coordonné de financement par le CNR et du développement des stations biologiques du SPSM suivant une planification par les bureaucrates. Ces différences devraient être examinées en termes d'une politique océanographique nationale qui assurerait l'excellence de la recherche, tout en évitant une redondance à vouloir défendre des hiérarchies purement institutionnelles.

Finalement, il y a une contradiction intéressante entre le financement de l'océanographie biologique au Canada (Section 3.1) et la distribution des océanographes biologistes (Section 3.2). Alors que le budget national consacré à l'océanographie biologique est inférieur à 10% du budget total des sciences de la mer, la répartition des scientifiques (tableau 2) montre que presque 25% de tous les scientifiques de la mer au Canada sont des océanographes biologistes. La raison d'une telle disproportion n'est pas claire à première vue. Cependant, au sein d'instituts individuels, il est évident que les fonds alloués aux scientifiques des pêches et de l'océanographie physique et chimique sont plus grands que ceux généralement accordés aux océanographes biologistes. De fait, on peut facilement avoir l'impression que l'océanographe biologiste canadien « moyen » est un scientifique plutôt pauvrement rémunéré, dont l'outil principal est un microscope! Il peut avoir hérité de cette position à cause de son manque de meilleure formation (voir Section 5.2), de son manque d'implication dans des problèmes réels et d'un manque de recherches plus originales. Si c'est là un diagnostic approprié de la situation « moyenne » actuelle, on devrait faire des efforts à l'échelle nationale en vue de revaloriser cette science, à la fois par l'enseignement et par l'allocation de crédits pour la recherche.

5.2 Formation et développement d'océanographes biologistes

Nous donnons à la Section 3 un résumé du niveau général et de l'étendue de la formation en océanographie biologique au Canada. Il est évident, à la lecture de cette section, que l'enseignement de l'océanographie biologique est répandu dans tout le Canada et n'est pas limité aux deux centres universitaires canadiens de recherches océanographiques non plus qu'aux universités situées dans les régions maritimes. Il est difficile de comparer le contenu relatif des cours offerts dans différentes institutions, mais il ressort assez clairement de discussions privées que l'enseignement de l'océanographie biologique n'a pas la même signification pour différents professeurs dans différentes universités. La question de savoir si l'océanographie biologique devrait en fait être enseignée à tellement d'endroits au Canada ne vaut réellement pas la peine d'être discutée: il est peu probable que ce rapport change un curriculum d'enseignement qui jouit déjà d'une grande popularité et qui permet d'apprendre quelque chose de la biologie des océans. On peut toutefois se poser la question d'une façon différente; en supposant qu'un minimum d'océanographie biologique soit enseigné dans le but de former un cadre professionnel d'océanographes biologistes, quel devrait être un curriculum canadien pour ce sujet? Deux autres conditions qui s'y rattachent sont le degré de préparation de l'étudiant et le type d'emploi qu'il cherchera après l'obtention de son diplôme. En ce qui concerne la préparation de l'étudiant, je suppose que l'entraînement professionel d'un océanographe biologiste commence après l'obtention d'un B.Sc. dans un des sujets comme la biologie, la chimie, la physique ou la géologie. En deuxième lieu, en ce qui concerne la position pour laquelle l'étudiant est formé, je suppose qu'elle sera dans le domaine de la recherche fondamentale indépendante ou de la recherche appliquée, tout comme on pourrait s'attendre d'un Ph.D. dans toute autre science. Pour ce programme de formation, nous suggérons un curriculum minimal canadien conduisant au Ph.D. qui, en plus d'une thèse originale, serait le suivant (pour définition d'un crédit, voir tableau 4).

i) Cours de base sur la taxonomie de la flore et de la faune marines, avec plancton et communautés benthiques traités séparément (1 crédit).

ii) Méthodologie en océanographie biologique, y compris analyse d'eau de mer et de plancton, ainsi qu'un stage sur un navire océanographique (1 crédit).

iii) Océanographie biologique descriptive portant sur la distribution des plantes et des animaux marins dans l'hydrosphère et sur certaines communautés biologiques; ce cours devra inclure une discussion des problèmes de pêches et de pollution (2 crédits).

iv) Processus d'océanographie biologique démontrant comment les organismes réagissent entre eux au sein d'une communauté, et utilisant des relations mathématiques empiriques pour quantifier le degré d'interaction (2 crédits).

v) Modèles mathématiques de communautés marines décrivant divers efforts en vue de simuler le milieu marin et comprenant des modèles trophodynamiques et des modèles de dynamique des populations (2 crédits).

vi) Statistiques des populations marines montrant la répartition des organismes marins et les problèmes d'échantillonnage (2 crédits).

En plus de ces cours en océanographie biologique, l'étudiant devrait être tenu d'obtenir au moins deux crédits dans chacune des sciences suivantes: océanographie physique, chimique, et géologique et enfin des cours supplémentaires dans son domaine de spécialisation.

En comparant le curriculum que nous suggérons ci-dessus avec la Section 3.3, on se rend compte qu'aucune université au Canada n'offre présentement un tel programme. Dans la plupart des universités où on donne des cours en océanographie biologique, l'enseignement de l'océanographie physique, chimique et géologique fait défaut. Dans d'autres universités qui enseignent ces derniers sujets, il existe des lacunes dans le programme d'océanographie biologique; on note ici des lacunes dans l'enseignement de modèles mathématiques et de statistiques sur la répartition des organismes marins. Il faut aussi noter l'exclusion, comme sujet de cours, des communautés benthiques et des poissons qui font partie de la biologie de la mer. Les cours requis à l'IOUCB et à l'Université Dalhousie sont ceux qui, plus qu'à toute autre université au Canada, donnent une formation professionnelle en océanographie biologique, mais même ces deux universités n'offrent pas un curriculum complet tel que celui que nous suggérons ci-dessus.

Nous avons examiné, à la Section 3.2 de ce rapport, la répartition actuelle des océanographes biologistes au Canada. De cette discussion, il ressort que le rythme de croissance du nombre d'océanographes biologistes au Canada est environ deux fois plus rapide que celui prédit par Stewart et Dickie (1971), mais qu'il est beaucoup moindre que le taux d'obtention de diplômes projeté pour les biologistes de la mer. On peut supposer, par ce qui précède, que bien des gens auxquels on enseigne la biologie marine ne deviennent pas des océanographes biologistes; les autres genres d'emploi qui absorbent la majorité des biologistes de la mer incluent la physiologie des poissons, la gestion des pêches, les offices de parcs et des études de dynamique des populations. On peut dire que le pays, au moins, ne forme pas trop peu de spécialistes en océanographie biologique; on se demande plutôt si tous les étudiants diplômés trouvent un emploi dans la profession qu'ils ont choisie.

Sous ce rapport, il vaut peut-être la peine de considérer le rôle des naturalistes de la mer dans notre société. Le mouvement écologique en Amérique du Nord a créé un public soucieux de l'environnement sans créer un corps équivalent de personnes avisées pouvant donner l'information. Le nombre de membres des sociétés de naturalistes a augmenté considérablement, en partie à cause du mouvement écologique, mais aussi à cause du plus de temps libres que le public peut consacrer aux loisirs. La biologie marine est un sujet naturellement populaire, et l'enseignement généralisé de cette matière peut être canalisé en partie vers un programme de relations publiques par l'intermédiaire de naturalistes professionnels. Un public renseigné est un public éclairé, capable de prendre une attitude impartiale devant les problèmes tels que les développements portuaires. Sûrement, le brillant de Jacques Cousteau peut trouver sa contrepartie au Canada. Comme le souligne Hedgepeth (1957), des études de naturaliste à la mer étaient une partie de l'emploi des loisirs de l'aristocratie anglaise au temps de la reine Victoria; ne pourrait-on faire le même chose pour les masses dans un Canada contemporain?

Le tableau 3 et la figure 2 montrent la distribution des océanographes biologistes au Canada. Ces données révèlent un besoin de plus de professionnels dans le domaine de l'énergie radiante de la mer (y compris études sous la glace). Elles démontrent aussi que la communauté phytoplanctonique comme facteur régulateur important de la complexité du réseau alimentaire marin est un domaine d'étude qui a été négligé. La figure 2 indique qu'il existe un large groupe de scientifiques des pêches. Ces derniers sont tous, sauf quelques-uns, engagés dans une recherche orientée vers une espèce par opposition à une recherche orientée vers une communauté. Il y a donc un besoin de scientifiques des pêches pouvant comprendre, par exemple, comment la communauté marine supporte ses producteurs tertiaires qui réussissent le mieux (et qui, à cause de leur succès comme poisson, sont à leur tour l'objet d'une pêcherie).

La formation de techniciens et de technologues en océanographie biologique se fait en général soit par l'engagement de détenteurs d'un B.Sc. qui ont une certaine formation de base en océanographie ou dans une science connexe, soit par un processus d'apprentissage en vertu duquel une personne engagée pour appliquer une méthode en particulier est maintenue en poste à cause de ses aptitudes particulières en rapport avec cette méthode. Ce système s'est avéré assez satisfaisant, mais le besoin se fait de plus en plus sentir d'un cours au niveau postgradué en océanographie biologique visant à former des techniciens ou technologues supérieurs. Dans la fonction publique, par exemple, il y a trois niveaux d'embauchement, viz technicien, scientifique biologiste et scientifique de recherche. Bien que nos programmes d'enseignement fournissent des B.Sc. pour les techniciens et des Ph.D. pour les scientifiques

de recherche, il n'y a pas de programmes spécifiques pour les scientifiques biologistes. Nous suggérons donc qu'un programme de M.Sc. sans thèse (i.e. sans recherche) soit établi dans le sens du diplôme décrit pour l'Université de Southampton (Section 3.3). Ce serait un diplôme postgradué décerné après 12–18 mois d'études interdisciplinaires intensives et l'exécution d'un projet en océanographie, avec accent sur la biologie. Ce cours servirait à former des gens capables de solutionner les problèmes toujours plus complexes de science océanographique, tels qu'analyse d'eau de mer, manipulation de données, organisation de croisières et supervision de techniciens engagés pour faire les relevés.

5.3 Instrumentation et installations

Nous décrivons à la Section 4.7 quelques-uns des desiderata généraux des océanographes biologistes en ce qui concerne l'instrumentation et les installations. Dans la section qui suit, nous analysons certains problèmes spécifiques, avec accent sur la scène canadienne.

Les coûts de l'instrumentation sont élevés et, en océanographie, s'ajoute le risque de perdre un prototype en mer. C'est pourquoi la plus grande partie de l'outillage utilisé par les océanographes canadiens a dû être importée. Dans certains domaines, toutefois, l'instrumentation marine a été développée avec succès au Canada; c'est le cas d'un submersible de profondeur (Pisces), d'un compteur de plancton in situ (Boyd et Johnson 1969), d'un corps toué pour porter des enregistreurs in situ (Batfish) et de grandes colonnes en plastique comme celles utilisées dans le projet EPEC. Tous ces progrès techniques ont, d'une façon ou d'une autre, aidé l'océanographie biologique. D'autres projets, cependant, tout en étant réussis, n'ont pas eu de conclusions aussi heureuses en terme de développement de l'instrumentation. Le génie d'inventeur est une chose qui ne peut être inscrite dans les plans scientifiques. L'originalité des inventions devrait plutôt être évaluée par un corps scientifique le plus diversifié possible (scientifiques gouvernementaux et universitaires), et le développement éventuel du produit laissé à l'industrie privée.

S'il doit y avoir une politique nationale de développement de l'instrumentation océanographique, il serait bon qu'elle soit orientée vers des appareils d'échantillonnage in situ. Comme nous l'avons indiqué à la Section 4.7, il y a eu plusieurs développements dans ce domaine qui permettent à l'océanographe biologiste de voir les océans comme ils existent réellement à un point précis dans le temps, et non pas après que les échantillons ont été écrasés dans des filets, mâchés par des bennes à sédiment ou déplacés de leur habitat naturel par une bouteille d'échantillonnage. Dans le développement de techniques in situ, il faut également considérer les vastes superficies et volumes qui doivent être couverts aussi bien dans les eaux côtières qu'en pleine mer dans l'Atlantique, le Pacifique et l'océan Arctique. C'est pourquoi, il faudra tenir compte, dans un contexte canadien et en autant que la chose sera possible, de la nécessité de couvrir de grandes étendues sur des longues périodes, et utiliser à cette fin des satellites, des avions ou des bouées automatiques.

Les problèmes spéciaux des écologistes benthiques qui étudient la condition naturelle des communautés benthiques et l'influence de l'homme sur ces environnements ont besoin d'être réexaminés avec l'idée de développer de nouvelles stratégies de gestion pour les ressources benthiques de la mer. En particulier, on devra, dans un avenir quelconque, songer à un grand sous-marin de recherches pour des études sur le plateau continental canadien. Un tel véhicule serait essentiellement un laboratoire sous-marin mobile. Il devrait être construit en collaboration avec la Marine canadienne, ou par la Marine elle-même.

À notre avis, plusieurs océanographes biologistes professionnels ne profitent pas de certaines techniques raffinées utilisées par les autres professions scientifiques. On devrait encourager les biologistes à développer de meilleures techniques de relevés, surtout en ce qui concerne les échantillonneurs in situ, et à adopter des méthodes d'approche plus originales aux problèmes d'océanographie biologique. La construction d'un nouvel appareil en océanographie biologique doit être précédée d'une claire définition du programme scientifique que cet appareil devra servir. Une outil de plusieurs millions de dollars doit être utilisé efficacement pour donner des réponses d'un million de dollars. Il est important que les coûts élevés de l'équipement océanographique soient canalisés vers une recherche active, et les jeunes scientifiques, en particulier, devraient être consultés sur les besoins en outillage dispendieux.

5.4 Recherches sur la pollution

Les problèmes les plus sérieux de pollution de la mer sont ceux qui sont reliés aux processus des rivages. Puisque c'est également ce milieu qui contient les stades biologiques des plus importantes pêcheries canadiennes (e.g. homard, saumon, hareng, etc.), il va de soi que la majeure partie des recherches canadiennes sur la pollution portent sur la zone côtière.

Deux domaines d'interrelations entre l'océanographie et les polluants industriels ou municipaux sont: (1) prévention de la pollution et (2) protection de l'habitat.

Dans la prévention de la pollution, la préoccupation principale de l'océanographe est celle des rejets industriels et municipaux, et de la façon dont

disposer des substances toxiques ou nuisibles en mer. On consulte les océanographes biologistes sur ces questions quand il s'agit de se débarasser des déchets, surtout ceux qui causent des dommages directs à l'environnement (e.g. métaux lourds et solvants organiques). Cependant, une attitude plus positive serait de considérer aussi le recyclage de plusieurs soi-disant « déchets » de l'industrie. Dans ce domaine, le Canada a grand besoin de développer ses connaissances en océanographie biologique. Les problèmes à étudier en rapport avec la réutilisation des déchets sont, entre autres, la conversion des eaux usées, la chaleur, les déchets de poisson et l'effluent de papeteries. Essentiellement, ces produits de « déchets » ont ceci en commun qu'ils représentent de vastes réservoirs d'énergie ou de matériaux que l'on a pris beaucoup de peine à concentrer, pour n'en extraire qu'un seul produit et se débarasser du reste aussi rapidement que possible. L'utilisation de ces déchets par l'aquiculture d'organismes qui peuvent s'en nourrir semble être un moyen prometteur de prévention de la pollution.

Pour ce qui est de la protection de l'habitat, le Canada a un rôle presque unique à jouer parmi les pays industrialisés occidentaux, l'étendue de ses côtes par rapport à son degré d'industrialisation a exempté bien des secteurs de tout dégât par les activités humaines. Par ailleurs, certaines régions voient surgir la menace d'opérations minières sous-marines (e.g. pétrole) et celle de nouvelles industries dans les régions côtières. Ici, le problème réside dans le fait que l'océanographe biologiste ne connaît pas suffisamment les processus côtiers pour émettre un jugement valide sur ce qui pourrait constituer une politique de protection de l'environnement. Cette frustration a créé, chez les scientifiques, une attitude négative qui a rendu difficile la liaison entre ceux-ci et les entrepreneurs. Un argument qui a pris naissance dans ce vacuum de connaissance est qu'il est toujours nécessaire de préserver l'état naturel de l'environnement. Ceci peut être vrai d'un chenal de fraie ou d'une route de migration des poissons. Par contre, l'état naturel de certains environnements est analogue à la vieillesse chez les humains, et une science de « gérontologie écologique » contribuerait beaucoup à l'amélioration de nos habitats côtiers. Il existe des situations semblables dans l'environnement terrestre: quand on enlève un excès de conifères, il s'ensuit une explosion des populations animales (e.g. de cerfs) et végétales. Dans les zones côtières, des programmes d'aménagement tels que le détournement d'une rivière, la construction de jetées, le développement de dunes par le dragage et la formation de récifs sous-marins peuvent contribuer beaucoup à la protection et au développement d'un habitat. Ces programmes pourraient, dans certains cas, être exécutés en même temps que des développements industriels et portuaires.

On devrait reconnaître que la protection de l'habitat doit s'appliquer autant à l'industrie des pêches qu'aux industries de terre et aux projets miniers sous-marins. Les effets des pêches sur l'habitat marin sont généralement mal connus, sauf dans le cas où une pêcherie cause des dommages à une autre. Comme exemple, on estime que la pêcherie de poissons démersaux aux filets maillants de fond au large de la côte de St-Jean, T.-N., détruit environ 160,000 lb de crabes de taille commerciale et 30,000 lb de petits crabes annuellement (Office des recherches sur les pêcheries du Canada, Rétrospective 1971–1972). L'effet du chalutage sur les communautés benthiques a été également l'objet de recherches, bien qu'il n'y ait pas eu d'études à long terme de faites sur les effets destructeurs des chaluts de fond. Ces problèmes doivent être étudiés par les océanographes biologistes et surtout par les écologistes benthiques.

Les activités des sociétés qui poursuivent des opérations minières sous-marines donneront probablement naissance à de nouvelles formes de pollution marine. Il peut s'agir de problèmes purement structuraux, comme le creusage et le déversement de sédiments, ou d'effets plus subtils, comme l'enrichissement en substances nutritives et l'atténuation de la lumière en amenant à la surface une eau profonde chargée de sédiments.

Finalement, il est probablement mieux de laisser aux chimistes les problèmes de pollution océanique globale de l'environnement marin en attendant d'avoir établi des niveaux étalons de mesure de contamination hydrosphérique. Il faudra cependant poursuivre des expériences sur les contaminants globaux possibles, tels que les hydrocarbures et le plomb, afin d'évaluer les effets chroniques lents de ces substances.

5.5 Relations internationales

Nous résumons à la Section 3.5 la participation des océanographes canadiens aux organismes internationaux. En général, cette participation est plutôt faible et superficielle dans certains organismes de pêcheries (OIG) et beaucoup plus active dans les organismes sicentifiques (ONG). Ce type de participation demeurera le même pour l'avenir immédiat, mais il y aura plus tard une plus grande participation d'océanographes biologistes aux travaux d'organismes de pêcheries. Des signes de ceci sont la formation d'un groupe de travail sur l'environnement à l'ICNAF, et le programme MARMAP des États-Unis, avec implications évidentes à l'endroit de la participation canadienne.

Au-delà d'une coopération entre organismes, l'océanographie biologique n'a pas encore joué de rôle significatif dans le domaine de l'aide à l'extérieur. Certains pays on établi des programmes bilatéraux

d'aide aux pays en voie de développement (e.g. projets de pêches indo-norvégien, polonais-guinéen). Dans ces cas, un grand nombre de scientifiques et de techniciens (du directeur de projet au ramendeur de filets) ont été prêtés aux pays étrangers pour former des experts indigènes. Ces projets sont financés à même les budgets d'aide à l'extérieur, mais font appel à des experts gouvernementaux et universitaires. L'utilisation d'équipement de construction canadienne et la supervision de la gestion sur le terrain seraient une forme d'aide économique et scientifique beaucoup plus efficace que celle qui est généralement accordée sous l'empire de programmes multinationaux.

Dans un avenir plus ou moins rapproché, il y aura peut-être lieu de songer à l'acquisition d'un navire canadien de recherches et d'entraînement qui visiterait divers pays en voie de développement et qui donnerait des leçons à bord et des démonstrations en mer. Les sujets enseignés devraient inclure toutes les branches de la science de la mer. En allant d'un port à l'autre, ce navire pourrait poursuivre des travaux hydrosphériques et atmosphériques et contribuer à maintenir une meilleure surveillance internationale sur ces deux environnements. Un navire canadien de cette nature serait un meilleur ambassadeur pour la nation canadienne que le déploiement usuel des couleurs par des navires de guerre armés.

La participation canadienne aux expéditions océanographiques multinationales des années 1960 a été faible en général. Ce n'est que récemment seulement que nos navires océanographiques ont pris part à des expéditions en dehors des eaux qui intéressent immédiatement le Canada. Mises à part les suggestions que nous faisons plus haut concernant l'aide extérieure, il est généralement vrai que nos régions océaniques sont déjà tellement vastes et sous-exploitées que nous ne pouvons déployer beaucoup d'effort dans d'autres régions du monde. Dans le cas de l'océan Pacifique, nous avons des raisons d'étudier les approches occidentales de notre côte, vu que les mêmes eaux qui passent par les côtes asiatiques atteignent nos côtes plusieurs années plus tard. Des expéditions océanographiques multinationales dans les eaux canadiennes, telle que le programme Norwestlant de l'ICNAF, devraient être encouragés, car elles apportent une expertise étrangère à nos facilités de recherche limitées.

Le besoin d'expertise océanographique canadienne de la part des pays en voie de développement nous amène à se demander comment les Canadiens pourraient faire profiter les autres de leur expérience des environnements d'eaux sous-arctiques et tropicales. Une façon de le faire serait d'établir une école sous-tropicale d'océanographie biologique au Laboratoire Bellaires de l'Université McGill aux Barbades. Cette école pourrait servir à former nos propres experts pour missions outre-mer et en même temps donner des cours aux étudiants des pays en voie de développement.

6. Recommandations

Les recommandations qui suivent prennent la forme d'un résumé des discussions présentées plus haut et dans les deux Annexes. Elles se divisent en deux: un groupe pour adoption immédiate et l'autre pour considération sur une plus longue période.

Recommandations à court terme

1. Les océanographes biologistes devraient être impliqués dans tous les programmes de recherches du SPSM sur nos pêches présentes et futures. Cette recommandation s'adresse autant aux cadres de gérance des pêches qu'aux océanographes biologistes.
2. On devrait adopter un meilleur curriculum d'enseignement de l'océanographie biologique dans les universités canadiennes. Nous donnons dans le texte les détails d'un tel curriculum.
3. Les océanographes devraient participer davantage à la recherche sur les problèmes de pollution, et adopter une attitude positive à l'endroit de la réutilisation des polluants, du développement simultané de plusieurs ressources et d'efforts nouveaux en vue d'aider et la nature et l'industrie.
4. On devrait entreprendre des programmes de contrôle continu à long terme en vue de mesurer les paramètres biologiques de certaines régions marines critiques, comme le détroit de Georgie, l'estuaire du Saint-Laurent et les Grands bancs. On devrait étudier la possibilité d'utiliser des navires marchands de même qu'une surveillance par avions et par satellites dans l'exécution de ces programmes.
5. Toute mise de fond régionale importante par le gouvernement pour la recherche en océanographie biologique devrait être considérée comme financement régional et non comme stimulant privé à une organisation de recherches en particulier. Une coopération gouvernement-industrie-université devra être clairement démontrée avant d'allouer des fonds.
6. Bien que nous reconnaissions clairement les coûts élevés d'installations océanographiques, y compris navires et laboratoires, leur construction devrait souvent être mieux définie quant au site, au programme scientifique et aux scientifiques responsables de leur utilisation. En particulier, les jeunes scientifiques auxquels on demande souvent d'utiliser ces facilités, devraient être consultés dans la planification qui précède la construction.

7. On devrait étendre aux laboratoires du SPSM la pratique de comités visiteurs chargés d'évaluer les besoins scientifiques locaux. Les comités de visite du CNR devraient être maintenus.
8. On a besoin de plus de connaissances scientifiques en écologie benthique en vue d'identifier le rôle du benthos littoral dans les processus de production côtière. Ceci comprend également les interactions entre les systèmes pélagiques et benthiques, surtout en ce qui a trait aux voies métaboliques de l'énergie en relation avec les pêches benthiques. Sous ce rapport, les responsables de la gestion des pêches devraient mieux connaître les relations entre la productivité benthique et les pêches.

RECOMMANDATIONS À LONG TERME:

1. On devrait tenir un colloque sur le besoin possible d'un programme national en océanographie afin de décider des priorités de navires océanographiques, enseignement de l'océanographie biologique, financement de la recherche et maintien de programmes de contrôle continu.
2. On a besoin de meilleures installations de recherches pour l'étude des communautés benthiques de l'interface vase–eau. Une installation de cette nature pourrait être un laboratoire sous-marin mobile, un grand sous-marin, par exemple.
3. Il faudra entreprendre des recherches sur les organismes océaniques qui, dans un avenir quelconque, pourront être la base de pêcheries nouvelles. Plus particulièrement, on a besoin de connaître davantage l'écologie des encornets, des petits poissons et de certains zooplanctontes (e.g. euphausides).
4. On devrait identifier des sites spécifiques pour la recherche biologique et l'aquiculture qu'on garderait en fiducie afin de s'assurer d'un développement approprié de stratégies de gestion expérimentale des mers canadiennes.
5. Il existe possiblement un besoin d'un cadre de naturalistes professionnels pour dialoguer avec le public sur divers problèmes tels ceux qui se posent à la suite de développements près des rivages, ou plus simplement pour expliquer la vie dans les océans comme le demandent les sociétés d'histoire naturelle.
6. Les universités devraient considérer l'introduction d'un diplôme professionel en océanographie. L'établissement d'un M.Sc. sans thèse répondrait peut-être le plus adéquatement à ce besoin.
7. L'industrie devrait explorer le développement d'échantillonneurs in situ pouvant être utilisés à bord de navires marchands.
8. On devrait étudier la possibilité d'un programme d'aide étrangère bilatérale impliquant un nombre important de scientifiques de la mer.
9. Les activités du CCIO devraient être élargies pour inclure l'identification de tous les groupes d'organismes marins et agir comme agence de services contractuels pour la recherche sur l'environnement et pour des études d'impact. Nous sommes d'avis que le CCIO devrait avoir une succursale sur la côte est et une autre sur la côte ouest.
10. Le besoin existe de comprendre l'écologie et l'évolution fondamentales des écosystèmes arctiques. À cette fin, on devra intensifier le travail en océanographie biologique à l'aide de programmes de support en physique, chimie et bactériologie qui devront être poursuivis sur une longue période (plusieurs années). Ces programmes devraient inclure des études spécifiques sur la biocoenose de la glace, les couches dispersantes profondes et la physiologie des vertébrés et des invertébrés.
11. Il faudra avoir de meilleures installations de recherches dans les eaux arctiques, soit un navire de recherches pour le SPSM construit spécialement pour des travaux dans l'arctique et une station de recherches pour étude à long terme de cette région.
12. On devra construire des modèles, pour fins de prédiction d'écosystèmes benthiques, fondés sur une compréhension beaucoup meilleure des variables physiques responsables des changements dans les communautés benthiques.
13. On devrait mettre sur pied des programmes de recherches et de contrôle continu sur le benthos au large des talus continentaux canadiens.

7. Remerciements

Je voudrais remercier les nombreuses personnes qui ont généreusement donné de leur temps et de leur énergie et fait diverses suggestions sur le développement de l'océanographie biologique au Canada. Il serait impossible d'incorporer dans ce rapport toutes les opinions exprimées, mais je crois qu'il y a eu suffisamment de réflexion sur le sujet pour donner aux planificateurs scientifiques un meilleur point de vue sur les problèmes et les besoins des océanographes biologistes.

Ce rapport a été préparé sous contrat avec l'Office des recherches sur les pêcheries du Canada.

8. Glossaire de quelques termes scientifiques employés dans le texte

Benthos — ensemble des animaux et des plantes qui vivent au fond de la mer.

Carnivore — animal qui se nourrit de chair.

Couche mixte — couche supérieure de l'océan dans laquelle l'action des vagues causées par le vent mélange l'eau jusqu'à la profondeur de la principale pycnocline.

Diffusivité verticale — distribution non uniforme d'une propriété dans un gradient vertical tendant vers l'équilibre.

Diversité — nombre d'espèces présentes par rapport à la population totale d'organismes.

Écosystème — communauté d'organismes qui réagissent les uns sur les autres et avec l'environnement.

Endofaune — animaux vivant dans le sédiment du fond.

Épifaune — animaux vivant sur le sédiment du fond.

Fécondité — mesure de fertilité ou de productivité.

Herbivore — animal qui se nourrit de plantes.

Ichtyologie — étude des poissons.

Limnologie — étude des lacs.

Littoral — région du rivage.

Necton — animaux nageurs de la zone pélagique.

Néritique — habitant la mer sur le plateau continental (i.e. à des profondeurs de < 200 m).

Neuston — organismes vivant à la surface de l'océan.

Océanique — habitant la mer au large, là où la profondeur dépasse 200 m.

Omnivore — qui se nourrit de plantes et d'animaux.

Pélagique — se dit des plantes et des animaux qui habitent la masse d'eau de l'océan, par opposition à ceux qui vivent sur le fond (benthique).

Plancton — animaux (zoo-) ou plantes (phyto-) qui flottent ou dérivent presque passivement dans l'eau.

Pycnocline — points de changement maximal de la densité.

Pyramide eltonienne — (d'après Elton) groupe de niveaux trophiques montrant l'abondance relative des espèces, de la biomasse ou de l'énergie.

Recrutement — poissons atteignant une taille à laquelle ils peuvent être capturés par des engins de pêche commerciale.

Remontée d'eaux profondes — déplacement des couches superficielles de l'océan sous l'action des vents et remplacement par des eaux des profondeurs.

Stabilité — (des communautés biologiques) aptitude d'un système à se maintenir après des perturbations externes mineures.

Trophique — qui a trait à l'alimentation des plantes et des animaux.

Zone abyssale — zone comprise entre 4000 et 6000 m de profondeur.

Zone bathyale — zone comprise entre 200 et 4000 m de profondeur.

Zone hadale — zone de plus de 6000 m de profondeur.

9. Liste des abréviations employées dans le texte

AIEA	— Agence internationale de l'énergie atomique
CCIO	— Centre canadien d'identification océanographique
CCO	— Comité canadien d'océanographie
CCRRM	— Comité consultatif de recherches sur les ressources marines
CDCB	— Société de développement du Cap-Breton
CIFP	— Commission internationale du flétan du Pacifique
CIPPN	— Commission internationale des pêches du Pacifique-Nord
CNR	— Conseil national de recherches
COI	— Commission océanographique intergouvernementale
CUEA	— Coastal Upwelling Ecosystem Analysis
DIEO	— Décennie internationale d'exploration océanographique
EPEC	— Expérience sur la pollution dans un écosystème contrôlé
FAO	— Organisation pour l'alimentation et l'agriculture
GIROQ	— Groupe interuniversitaire de recherches océanographiques du Québec
HEB	— L'homme et la biosphère
IABO	— International Association of Biological Oceanographers
ICES	— Conseil international pour l'exploration de la mer
ICNAF	— Commission internationale des pêches du Nord-Ouest de l'Atlantique
ICSU	— International Council of Scientific Unions
INRS	— Institut national de la recherche scientifique
IOUCB	— Institut d'océanographie de l'Université de la Colombie-Britannique
LORA-I	— Appareil de recherches océaniques à basse température
ME	— Ministère de l'environnement
OIG	— Organisation intergouvernementale
ONG	— Organisation non gouvernementale
OTAN	— Organisation du Traité de l'Atlantique Nord
PBI	— Programme biologique international
SCOR	— Scientific Committee on Oceanic Research
SIO	— Scripps Institution of Oceanography
SOUQAR	— Section océanographique, Université du Québec à Rimouski
SPSM	— Service des pêches et des sciences de la mer
UNESCO	— Organisation des Nations Unies pour l'éducation, la science et la culture

10. Références

ACKMAN, R. G., L. SAFE, S. N. HOOPER, AND M. PARADIS. 1973. 7–Methyl–7-Hexadecenoic Acid: Isolation from lipids of the ocean sunfish *Mola mola* (Linnaeus) 1758. Lipids. 8: 21–24.

ANDERSON, K. P., H. LASSEN, AND E. URSIN. 1974. A multispecies extension to the Beverton and Holt assessment model with an account of primary production. 62nd Annual meeting ICES, Copenhagen, Pelagic Fish Committee, H–20: 49 p.

ANTIA, N. J., C. D. MCALLISTER, T. R. PARSONS, K. STEPHENS, AND J. D. H. STRICKLAND. 1963. Further measurements of primary production using a large–volume plastic sphere. Limnol. Oceanogr. 8: 166–183.

BANNISTER, R. C. A., D. HARDING, AND S. J. LOCKWOOD. 1973. Larval mortality and subsequent year–class strength in the plaice (*Pleuronectes platessa* L.). *Dans* J. H. S. Blaxter [ed.] the Early Life History of Fish. Publ. Springer-Verlag, Berlin 21–36.

BARANOV, F. I. 1918. On the question of the biological foundations of fisheries. Nauchno–Issled. Ikhtiol. Inst., Izv. 1: 81–128.

BARRACLOUGH, W. E., R. J. LEBRASSEUR, AND O. D. KENNEDY. 1969. Shallow scattering layer in the subarctic Pacific Ocean: detection by high–frequency echo sounder. Science. 166: 611–613.

BARY, B. MCK. 1967. Diel vertical migrations of underwater scattering, mostly in Saanich Inlet, British Columbia. Deep–Sea Res. 14: 35–50.

BELL, F. H., AND A. T. PRUTER. 1958. Climatic temperature changes and commercial yields of some marine fisheries. J. Fish. Res. Board Can. 15: 625–683.

BEVERTON, R. J. H., AND S. J. HOLT. 1957. On the dynamics of exploited fish populations. Fish. Invest. Min. Agric. Fish. Food (G.B.) Ser. II 19: 533 p.

BOYD, C. M., AND G. W. JOHNSON. 1969. Studying zooplankton populations with an electronic zooplankton counting device and the LINC–8 computer, p. 83–90. *Dans* J. D. Mudie, and C. B. Jackson [ed.] Trans. of the Applications of Seagoing Computers. Symp. Mar. Tech. Soc.

*COWAN, R. C. 1960. Frontiers of the Sea. Doubleday and Co., New York, N.Y. 307 p.

CUSHING, D. H. 1972. The production cycle and the numbers of marine fish. Symp. Zool. Soc. Lond. 29: 213–232.

*DEACON, M. 1971. Scientists and the Sea — 1650–1900 — a study of marine science. Academic Press, Lond. 445 p.

DICKIE, L. M. 1973a. Management of Fisheries: Ecological Subsystems. Trans. Am. Fish. Soc. 102: 470–480.

1973b. Interaction between fishery management and environmental protection. J. Fish. Res. Board Can. 30: 2496–2506.

*DUNBAR, M. J. 1973. Returns on investment in oceanographic research. Unpubl. MS. Sci. Policy Comm. R. Soc. Can. 14 p.

GLOVER, R. S. 1970. Synoptic Oceanography — the work of the Edinburgh Oceanographic Laboratory. Underwater Sci. Technol. 2: 340–40.

GOLD, A. 1973. Energy expenditure in animal locomotion. Science 181: 275–276.

GULLAND, J. A. 1965. Survival of the youngest stages of fish, and its relation to year class strength. ICNAF Spec. Publ. 6: 363–371.

1970. The fish resources of the oceans. FAO Fish. Tech. Pap. No. 97. p. 423.

*HACHEY, H. B. 1961. Oceanography and Canadian Atlantic waters. Bull. Fish. Res. Board Can. 134: 120 p.

HEDGEPETH, J. W. 1957. Treatise on marine ecology and paleoecology. Vol. 1. Introduction 1–16.

HENSEN, V. 1887. Ueber die Bestimmung des Plankton oder des im Meere triebenden Materials an Pflanzen und Thieren; nebst Anhang. *Dans*: Funfter Bericht der Kommission z. wiss. Untersuchg. d. dt. Meere in Kiel f.d. Jahre 1882–1886. 1–107, mit einem Anhang von vier Tafein u. Fangprotokollen. (En allemand)

HJORT, J. 1914. Fluctuations in the great fisheries of northern Europe viewed in the light of biological research. Rapp. Proc. Verbaux. 20: 228 p.

1919. Canadian Fisheries Expedition, 1914–1915. Dep. Nav. Serv., Ottawa. 495 p.

HOLM-HANSEN, O., AND C. R. BOOTH. 1966. The measurement of adenosine triphosphate in the ocean and its ecological significance. Limnol. Oceanogr. 11: 510–519.

HUTCHINSON, A. H., AND C. C. LUCAS. 1931. The Epithalassa of Georgia Strait. Can. J. Res. 5: 231–284.

JOYNER, T. 1971. Evaluating the fitness of coastal waters for sea farming. Colloq. Int. l'Exploit. Oceans. Theme II (Paris), 2–12.

KERR, S. R., AND N. V. MARTIN. 1970. Trophodynamics of lake trout production systems, p. 365–376. *Dans* J. H. Steele [ed.] Marine Food Chains. Oliver and Boyd, Edinburgh.

KINNE, O. 1957. Physiologische Okologie — ein modernes Forschungsgekeit, Gedanken zur Problematik und Methodik der Okologie. Biol. Zentralbl. 76: 475–485. (En allemand)

1970. Unterwasser laboratorium "Helgoland" — Ein naturwissen-schaftlichtechnisches Pionierunternehmen. Naturwiss. 57: 480–487. (En allemand)

LASKER, R. 1974. A link between food chain studies and fisheries research: a larval fish bioassay. ICES 62nd meeting Pelagic Fish Comm. H. 10: 24 p.

LEBRASSEUR, R. J. MS 1965. Seasonal and annual variations of net zooplankton at ocean station P, 1956–1964. Fish. Res. Board Can., MS Rep. Ser. 202: 163 p.

LONGHURST, A. R., A. D. REITH, R. E. BOWER, AND D. L. R. SEIBERT. 1966. A new system for the collection of multiple serial plankton samples. Deep-Sea Res. 13: 213–222.

MARGALEF, R. 1968. Perspectives in Ecological Theory. Univ. Chicago Press, Chicago, Ill. 111 p.

MATH MODELSEA. 1974. Mathematical Models of the Continental Seas — Dynamic processes in the Southern Bight. ICES 62d Annual Meeting Copenhagen, Hydrographic Comm., C — 1: 454 p.

MURRAY, J., AND J. HJORT. 1912. The Depths of the Oceans. MacMillan Co., London 821 p.

PALOHEIMO, J. E., AND L. M. DICKIE. 1970. Production and food supply, p. 499–527. *Dans* J. H. Steele [ed.] Marine Food Chains. Oliver and Boyd, Edinburgh.

PARSONS, T. R. 1960. A data record and discussion of some observations made in 1958–1960 of significance to primary productivity research. Fish. Res. Board Can., MS Rep. Ser. 81: 22 p.

1972. Plankton as a food source. Underwater J. 4: 30–37.

PARSONS, T. R., AND B. R. DE LANGE BOOM. 1974. The control of ecosystem processes in the sea, p. 29–58. *Dans*: The biology of the Oceanic Pacific. Oregon State Univ. Press, Corvallis, Oreg.

PLATT, T. 1972. Local phytoplankton abundance and turbulence. Deep-Sea Res. 19: 183–187.

PLATT, T., AND R. J. CONOVER. 1971. Variability and its effect on the 24 h chlorophyll budget of a small marine basin. Mar. Biol. 10: 52–65.

PLATT, T., AND K. L. DENMAN. 1975. Spectral analysis in ecology. *Dans*: Annu. Rev. Ecol. Sys. 6: (In press).

PRINCE, E. E. 1901. Marine Biological Station of Canada. Introductory notes on its formation, aims and work. Contrib. Can. Biol., 32d Annu. Rep. Dep. Mar. Fish., Fish. Branch, Ottawa, 1–8.

1907. Prefactory note, further contributions to Canadian biology. 39th Annu. Rep. Dep. Mar. Fish., Fish. Branch, Ottawa, iii — iv.

PROSSER, C. L. 1957. Physiological variation in animals. Biol. Revs. 30: 229–262.

REGIER, H. A., AND H. F. HENDERSON. 1973. Towards an ecological model of fish communities and fisheries. Trans. Am. Fish. Soc. 102: 56–72.

RICKER, W. E. 1940. Relation of "catch per unit effort" to abundance and rate of exploitation. J. Fish. Res. Board Can. 5: 43–70.

1958. Handbook of computations for biological statistics of fish populations. Bull. Fish. Res. Board Can. 119: 300 p.

1969. Food from the sea, p. 87–108. *Dans* Resources and man. W. H. Freeman and Co., San Francisco. Calif.

RILEY, G. A. 1946. Factors controlling phytoplankton on Georges Bank. J. Mar. Res. 6: 54–73.

1947. A theoretical analysis of the zooplankton populations on Georges Bank. J. Mar. Res. 6: 104–113.

1963. Theory of food-chain relations in the ocean, p. 438–455. *In* M. N. Hill [ed.] The sea. Publ. Interscience, New York, N.Y.

ROBINSON, G. A. 1970. Continuous plankton records: variations in the seasonal cycle of phytoplankton in the North Atlantic. Bull. Mar. Ecol. 6: 333–345.

RUSSEL, F. S., A. J. SOUTHWARD, G. T. B. BOALCH, AND E. L. BUTLER. 1971. Changes in the biological conditions in the English Channel off Plymouth during the last half century. Nature 234: 468–470.

RYTHER, J. H. 1969. Photosynthesis and fish production in the sea. The production of organic matter and its conversion to higher forms of life vary throughout the world ocean. Science 166: 72–76.

RYTHER, J. H., W. M. DUNSTAN, K. R. TENORE, AND J. E. HUGUININ. 1972. Controlled eutrophication — increasing food production from the sea by recycling human wastes. Bioscience 22: 144–152.

SAMOETO, D. D. 1972. Yearly respiration rate and estimated energy budget for *Sagitta elegans*. J. Fish. Res. Board Can. 29: 987–996.

SCHAEFER, M. B. 1954. Some aspects of the dynamics of populations important to the management of commercial marine fisheries. Inter-Am. Trop. Tuna Comm. Bull. 1: 25–26.

1965. The potential harvest of the sea. Trans. Am. Fish. Soc. 94: 123–128.

SHELBOURNE, J. E. 1957. The feeding and condition of plaice larvae in good and bad plankton patches. J. Mar. Biol. Assoc. U.K. 36: 539–552.

SOUTHWARD, A. J. 1974. Changes in the plankton community of the western English Channel. Nature 249: 180–181.

STEELE, J. H. 1974a. Spatial heterogeneity and population stability. Nature 248: 83.

1974b. The structure of marine ecosystems. Harvard Univ. Press, Cambridge, Mass. 128 p.

STEPHENS, K. 1970. Data Record. Primary production data from the northeast Pacific Ocean, January 1967 to December 1969. Fish. Res. Board Can. MS Rep. Ser. 1123: 16 p.

STEWART, R. W., AND L. M. DICKIE. 1971. A study on marine science and technology in Canada. Inf. Can., Ottawa 175 p.

STRICKLAND, J. D. H. 1958. Solar radiation penetrating the ocean. A review of requirements, data and methods of measurement, with particular reference to photosynthetic productivity. J. Fish. Res. Board Can. 15: 453–493.

STRIFFLER, F. L. 1974. An expendable bathyphotometer. Ocean 74 IEEE meeting, Halifax, N.S. 2: 248–249.

SUTCLIFFE, W. H. JR. 1970. Relationship between growth rate and ribonucleic acid concentration in some invertebrates. J. Fish. Res. Board Can. 27: 606–609.

1972. Some relations of land drainage, nutrients, particulate material, and fish catch in two eastern Canadian bays. J. Fish. Res. Board Can. 29: 357–362.

SVERDRUP, H. U. 1953. On conditions for the vernal blooming of phytoplankton. J. Cons. Explor. Mer. 18: 287–295.

THOMPSON, W. F., AND F. H. BELL. 1934. Biological statistics of the Pacific halibut fishery (2). Effect of changes in intensity upon total yield and yield per unit of gear. Int. Fish. Comm. Rep. 8: 49.

URSIN, E. 1974. Input data for a multispecies yield assessment model of North Sea fisheries. 62d Annual Meeting, ICES, Copenhagen, Pelagic Fish Comm., H-40: 14 p.

WEBSTER'S NEW WORLD DICTIONARY. 1966. Coll. ed. D. B. Guralnik, and J. H. Friend, [ed.]. Publ. Nelson, Foster and Scott, Toronto 1724 p.

WILLIAMS, P. M., AND L. I. GORDON. 1970. Carbon-13: Carbon-12 ratios in dissolved and particulate organic matter in the sea. Deep-Sea Res. 17: 19–27.

YENTSCH, C. S. 1973. Remote sensing for productivity in pelagic fisheries. Nature 244: 307–308.

YOUNGBLOOD, W. W., M. BLUMER, R. L. GUILLARD, AND F. FIORE. 1971. Saturated and unsaturated hydrocarbons in marine benthic algae. Mar. Biol. 8: 190–201.

*Ces publications peuvent ne pas avoir été citées dans le texte, mais elles ont été consultées à titre documentaire avant la préparation de ce rapport.

ANNEXE I

Pronostics d'une océanographie benthique canadienne

B. T. HARGRAVE

Ministère de l'Environnement, Service des pêches et des sciences de la mer, Laboratoire d'écologie marine, Institut Bedford d'océanographie, Dartmouth, N.-É. B2Y 4A2

ET C. D. LEVINGS

Ministère de l'Environnement, Service des pêches et des sciences de la mer, Institut de l'environnement du Pacifique, Vancouver-Ouest, C.-B. V7V 1N6

I. Introduction

L'exploration, par l'homme, du fond de la mer et des processus de la surface de ce fond a débuté il y a seulement un siècle. Nos connaissances en sont limitées parce que l'accès au fond de la mer est difficile, dispendieux et souvent dangereux. De plus et surtout, on ne reconnaissait pas le besoin, sauf par curiosité, d'explorer ces vastes régions sous-marines. Aujourd'hui, l'importance de l'océan vis-à-vis de l'homme change rapidement. Le besoin de sources additionnelles d'énergie et de minéraux, de rendements soutenus pour les pêches et d'endroits pour nos déchets nous a fait réaliser de façon dramatique qu'on ne connaissait à peu près rien des processus qui agissent à travers la surface du sédiment. Les centrales hydro-électriques et atomiques, les développements industriels et les super-ports continuent de proliférer le long de nos côtes. Cependant, nous possédons peu de connaissances qui nous permettent de prédire les résultats de ces développements dans les habitats côtiers. De plus, on reconnaît maintenant que l'aquiculture est une alternative nécessaire à la récolte des populations naturelles.

II. Réalisations passées

Notre présente incompréhension des processus des systèmes marins et notre incapacité à prédire les effets de changements sont le résultat de l'orientation de nos recherches dans le passé. Avant d'analyser cette orientation, surtout par rapport aux communautés benthiques, il est nécessaire de souligner combien récente est en réalité l'exploration scientifique du fond de la mer. Il est vrai que les premières collections d'invertébrés signalées dans les eaux canadiennes furent celles de Dawson en 1835, sur la côte de la Nouvelle-Écosse. Cependant, ce sont les collections de Dawson et de Whiteaves, dans l'estuaire et le centre du golfe Saint-Laurent, qui marquent le début de l'océanographie biologique benthique au Canada (Whiteaves 1901). Aux spécimens d'animaux de fond prélevés sur le plateau continental et sur les bancs de pêche de la Nouvelle-Écosse par Willis en 1850, sont venues s'ajouter les collections faites au cours de l'expédition britannique du *Challenger* (1872–76) et, après 1877, sous les auspices de la U.S. Fish Commission (Whiteaves 1901; Davis 1973). Whiteaves et Dawson recueillirent également des organismes benthiques dans les eaux de la Colombie-Britannique (Whiteaves 1187; Barnard et al. 1967).

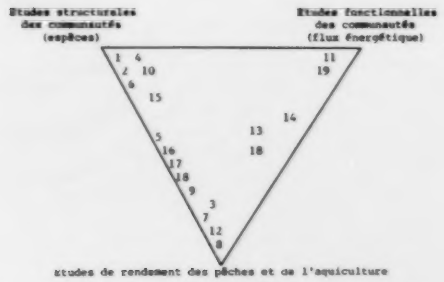
Un des objectifs principaux de la fondation de l'Office de biologie du Canada en 1898 fut de promouvoir l'étude de l'histoire naturelle et de la distribution des espèces de poissons de commerce. Ceci nécessita également l'identification des invertébrés aquatiques qui servent de nourriture aux poissons. La formation de l'Office stimula donc les études de taxonomie et de distribution et des poissons et des invertébrés marins.

Il se produisit, dès les premières années, une dichotomie qui allait s'intensifier et aboutir à la séparation des biologistes des pêches et des biologistes benthiques. Cette séparation fut causée par la tendance, chez les deux groupes, à concentrer leurs recherches sur une espèce ou un groupe d'espèces en particulier. Ces études ne donnèrent pas l'information écologique requise par l'industrie des pêches et les ministères fédéraux chargés de la gestion des pêches. Alors que les biologistes des pêches s'occupaient surtout de l'évaluation des stocks, des modalités de migration et des facteurs de recrutement, les biologistes benthiques continuèrent leurs études typologiques de description d'espèces dans divers milieux marins. On négligea les questions reliant les deux domaines, telles que la disponibilité et les facteurs affectant la production de nourriture, le taux de prédation par les poissons et l'efficacité d'utilisation des ressources alimentaires dans la croissance.

Les études passées sur les communautés benthiques peuvent être classées suivant un schéma à trois directions, démontrant la séparation des méthodes d'approche à des problèmes pourtant liés les uns aux autres (fig. 8). Il ne servirait à rien de tenter de résumer toutes les études antérieures. Ces exemples ont été choisis simplement comme représentatifs de types de travaux nettement différents poursuivis dans le passé. Cependant, même une liste partielle comme celle-ci indique que les études de type *structural* (communauté) ont été passablement séparées des études de flux énergétique *fonctionnel* (trophique). Les études faisant le lien entre l'écologie benthique et les problèmes des pêches se situeraient à mi-chemin dans ce schéma. Une analyse plus détaillée de chaque catégorie d'études nous éclairera sur les raisons de cette séparation.

1. ÉTUDES STRUCTURALES DES COMMUNAUTÉS

Les relevés taxonomiques sont le fondement historique de toute étude biologique des communautés benthiques. Les listes de plantes et d'animaux, et les



1. Berkeley et Berkeley 1954 (Classification, distribution des polychètes)
2. Newcombe 1936 (Distribution des mollusques)
3. Medcof 1961 (Distribution, croissance de l'huître)
4. Bousfield 1956 (Mollusques, amphipodes)
5. Brunel 1968 (Golfe Saint-Laurent, hyperbenthos, contenus stomacaux des poissons)
6. Ellis 1970 (Endofaune du détroit de Georgie)
7. Dickie 1955 (Pétoncles, modèle de rendement des pêches de la baie Ste-Marie)
8. Thomas 1970 (Benthos littoral de l'Ile-du-Prince-Edouard)
9. Scarratt 1968 (Distribution, croissance du homard, récifs artificiels)
10. Peer 1963 (Golfe Saint-Laurent, distribution de la faune des baies côtières)
11. Stephens et al. 1967 (Sédimentation, baie Departure, C.-B.)
12. Quayle 1971 (Collecte et culture de l'huître sur radeaux)
13. Mann 1973 (Laminaria, oursin commun, chaîne alimentaire du homard, baie St. Margaret)
14. Peer 1958 (Production des populations de Pectinaria)
15. Hughes et al. 1972 (Analyse à plusieurs variables du benthos de la baie St. Margaret)
16. Levings 1972 (Effets de la pluie rouge sur les populations d'amphipodes)
17. Tyler 1968, 1971 (Pluie rouge, aiglefin, alimentation intertidale)
18. Caddy 1973 (St. Andrews, études des populations de pétoncles, effets des chaluts de fond)
19. Hargrave 1973 (Couplage de la production pélagique et benthique)

FIG. 8. Classification de certaines recherches canadiennes en océanographie biologique benthique. Les chiffres placés à la périphérie du triangle se rapportent aux auteurs et aux études indiquées.

descriptions d'espèces nous donnent une mesure quantitative de la structure des communautés lorsqu'elles sont combinées à des estimés de nombre et de biomasse. Il y a dans les Musées nationaux du Canada et dans plusieurs musées provinciaux un personnel compétent pour l'identification des espèces. Il y a également dans les universités des personnes hautement spécialisées dans la taxonomie de certains groupes. En dépit de compétences aussi répandues, il n'existe ordinairement pas de listes d'espèces pour une région particulière. La plupart des études benthiques doivent donc commencer par la compilation d'une liste systématique à date.

Les communautés benthiques de la zone intertidale et des eaux peu profondes ont été étudiées d'un point de vue structural. Par ailleurs, les régions profondes du large sont moins connues. Il n'y a pas eu d'études canadiennes à long terme de faites sur les communautés benthiques des Grands bancs et du plateau néo-écossais. Il arrive assez souvent que des collections anciennes soient notre seule source d'information sur les espèces présentes dans de vastes superficies du large. Ce manque de connaissances s'est particulièrement fait sentir lorsqu'on s'est intéressé récemment aux populations d'eau profonde de homards, de crabes royaux et de crabes des neiges. Nous ne savons à peu près rien de ces espèces, ni de la communauté dont ils font partie, connaissances qui nous auraient permis de faire des estimés préliminaires d'un rendement soutenu possible.

2. ÉTUDES DU RENDEMENT DE LA PÊCHE ET DE L'AQUICULTURE

L'inventaire des contenus stomacaux fait depuis longtemps partie des programmes d'échantillonnage des populations de poissons, tant pélagiques que démersaux, sur les côtes est et ouest. Certaines de ces études, surtout celles que l'on poursuit aux laboratoires du Service des pêches et des sciences de la mer (St. Andrews, St-Jean, T.-N., et Nanaïmo), sont en cours depuis une couple de décennies. Il n'y a pas eu de programmes correspondants d'échantillonnage d'invertébrés benthiques. Il est donc rarement possible de comparer l'abondance d'espèces proies particulières avec son abondance dans les contenus stomacaux des poissons. Des études de ce genre, là où elles ont été faites, indiquent qu'il y a prédation sélective (Brunel 1968; Levings 1972) (fig. 9). Les crustacés qui se déplacent sur le fond sont particulièrement vulnérables, alors que l'endofaune n'est capturée qu'au moment où elle est exposée. Plusieurs espèces benthiques peuvent donc être en grande partie inaccessibles comme source de nourriture, parce qu'elles sont fouisseuses. Des calculs d'indices d'électivité (comparaison des diverses espèces dans les contenus stomacaux avec celles de la communauté d'où provient la nourriture) montrent clairement cette inaccessibilité (Levings 1972), mais peu de mesures de cette nature ont été faites.

Il est étonnant de noter, par exemple, qu'il existe peu de données sur la biomasse ou sur la production benthique sur les bancs intensivement exploités au large de la côte canadienne de l'Atlantique, et que fréquentent plusieurs espèces importantes de poissons qui se nourrissent sur le fond (e.g. aiglefin, *Melanogrammus*

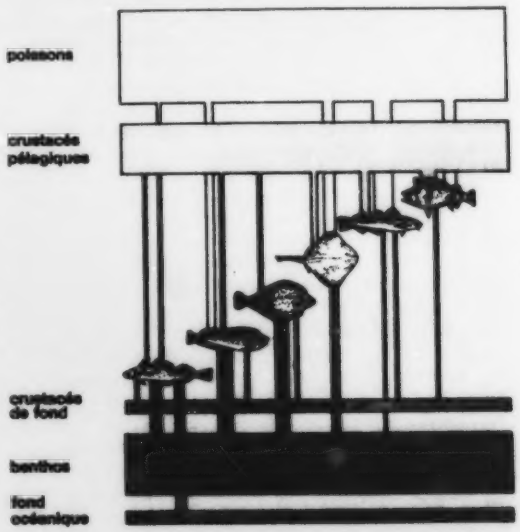


FIG. 9. Alimentation sélective de poissons de mer pélagiques, démersaux et benthiques (extrait de Zenkevich 1963). L'utilisation des divers types de nourriture est proportionnelle à l'épaisseur des barres verticales.

aeglefinus; morue franche, *Gadus morhua*). Les biologistes soviétiques (Nesis 1965) ont publié les seules données que l'on ait sur le benthos des Grands bancs (fig. 10). Le travail de Nesis a été effectué en rapport avec l'intensive pêcherie soviétique sur les Bancs.

La disponibilité et l'utilisation sélective de la nourriture par les organismes benthiques (populations de poissons aussi bien qu'invertébrés) sont importantes pour déterminer les différences de rythme de croissance observées dans les populations naturelles. Cependant, il est rarement possible de faire la relation entre les résultats de ces études et celles de la structure et la dynamique des populations. Les mesures de recrutement, de mortalités et de rythmes de croissance doivent, de toute nécessité, considérer tous les stades du cycle biologique, ordinairement sur une base numérique aussi précise que possible. Les études d'alimentation, d'autre part, ne portent souvent que sur les organismes d'une certaine taille, les adultes par exemple. On néglige ordinairement les stades juvéniles (larvaires), plus difficiles à récolter, et où peuvent se produire des changements de régime durant une période de croissance rapide. Les analyses de régime et d'alimentation sont le plus souvent poursuivies sur une base qualitative ou semi-quantitative, et il est rarement possible de faire des estimations précises de l'alimentation dans des conditions ambiantes réalistes. Une précision différente dans la collection des données et les limites imposées à leur interprétation nous empêchent de les intégrer ou même de les comparer, même si des espèces semblables sont étudiées.

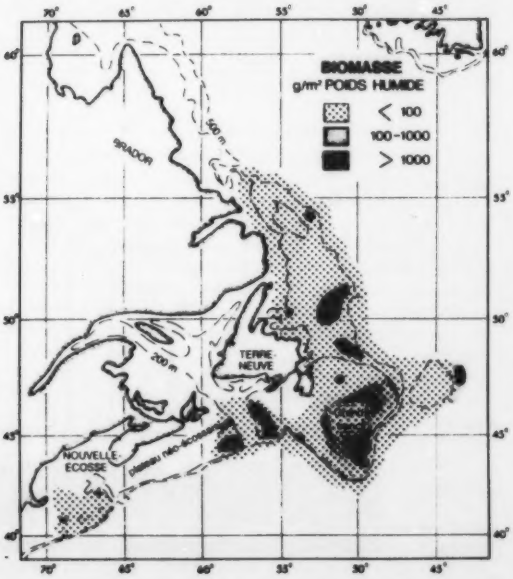


FIG. 10. Distribution de la biomasse benthique sur les bancs de pêche au large de la côte canadienne de l'Atlantique (extrait de Nesis 1965).

On peut avoir une idée de l'amélioration probable du rendement par l'aquiculture en se basant sur les organismes cultivés eux-mêmes. Si l'organisme existe dans la région au départ, on peut supposer que les conditions physiques, chimiques et biologiques sont favorables. C'est ainsi qu'on a pu prédire le succès de l'ostréiculture en Colombie-Britannique et en Nouvelle-Écosse (Quayle 1971) sur la base de populations déjà existantes dans les petites baies où l'on pratique cette culture.

3. Études fonctionnelles des communautés

Le peu d'importance attachée à la taxonomie dans les études de dynamique des chaînes alimentaires a causé une séparation distincte entre ces études et celles qui se rapportent à la structure des communautés. L'identification des associations d'espèces dans les communautés (Hughes et al. 1972) pourrait faire le lien entre ces deux approches en indiquant les relations prédateurs–proies. Un chercheur a rarement envisagé une communauté benthique de ces deux points de vue, et il n'y a pas eu d'efforts coopératifs jusqu'ici entre les scientifiques qui étudient simultanément la structure et la fonction des communautés.

Les différences physiques entre les côtes de l'est et de l'ouest ont déterminé en grande partie les types d'habitat choisis dans le passé pour des études d'environnement. Les régions intertidales à fond mou, marécages salés, estuaires, baies peu profondes et régions exposées du plateau sur la côte est font qu'il y a dominance de poissons et d'invertébrés se nourrissant sur le fond (plie canadienne, morue, aiglefin, homard). Ceci réflète l'importance des chaînes alimentaires à base de déchets dans les eaux peu profondes, où la productivité des algues marines fixées peut dépasser de beaucoup la production de phytoplancton (Mann 1973; figure 2). Les études de flux énergétique dans de telles communautés portent nécessairement sur la dynamique des processus à l'interface sédiment–eau. Les processus de transfert d'énergie à l'intérieur du sédiment sont aussi importants que ceux qui se produisent dans la colonne d'eau des régions peu profondes.

Les fjords profonds de la côte de la Colombie-Britannique supportent des systèmes de chaînes alimentaires pélagiques (e.g. saumon, hareng) et d'organismes filtreurs benthiques (e.g. huîtres, moules) qui utilisent les phytodétritus dans les couches sus-jacentes. Les eaux peu profondes de l'étroit plateau continental supportent des poissons démersaux qui se nourrissent à même le benthos des fonds mous. Les régions intertidales à fond mou sont rares sur la côte ouest et se rencontrent ordinairement dans les estuaires. Une récente étude d'impact dans un estuaire (rivière Squamish) démontre que les jeunes saumons se nourrissent d'amphipodes intertidaux (ME 1972), établissant ainsi un lien avec les algues benthiques et les détritus provenant des carex. Une zone littorale rocheuse étendue supporte une abondante biomasse d'algues marines sur la côte de la Colombie-Britannique. Ce n'est que maintenant qu'on commence à apprécier la signification trophique de ces plantes (Foreman, communication personnelle), comparativement aux

apports énergétiques par écoulement des rivières et phytoplancton (Stephens et al. 1967).

La dichotomie des méthodes d'approche passées à la recherche biologique benthique réflète un manque de coordination dans l'étude des communautés. Il existe trois groupes distincts de scientifiques (fig. 8) qui, en fait, représentent chaque type d'approche aux systèmes benthiques. Parfois, ces groupes ne lisent pas ce que les autres publient, ignorent ordinairement les recherches mutuelles qu'ils font et ne collaborent jamais à des projets conjoints. Les objectifs de chaque groupe sont de plus remarquablement différents. L'analyse des communautés est ordinairement entreprise dans le but de décrire les attributs structuraux (diversité, associations d'espèces) qui caractérisent et quantifient ces groupements. Les études de rendement des pêches et d'aquiculture ont, comme objectif premier, la production maximale soutenue d'espèces uniques d'importance commerciale. Les études de flux énergétique dans les communautés et les écosystèmes tentent de rattacher toutes les composantes de la communauté à l'apport et à la transformation d'énergie. Il n'y a pas d'objectif commun aux trois méthodes d'approche, et personne n'a encore suffisamment compris les aspects théoriques et pratiques d'une communauté naturelle pour pouvoir faire des prédictions.

III. Activités courantes

Comme par le passé, les études inter- ou transdisciplinaires sont mal représentées dans les recherches courantes. Le problème doit être envisagé sous un angle biologique, mais les barrières disciplinaires doivent être abolies en dirigeant vers un objectif commun les efforts de personnes de formations différentes (Regier et al. 1974). Cet objectif commun doit être identifiable et reconnu par tous les participants. On pourra alors développer une méthodologie, vérifier des hypothèses ou résoudre des problèmes spécifiques (crises) en tenant compte de l'intérêt commun. De tels objectifs existent rarement, même au sein de la communauté des biologistes benthiques eux-mêmes. Il n'est donc pas surprenant qu'on n'ait pas encore réussi à trouver des objectifs communs à d'autres disciplines (géologie, chimie, physique).

Les études de sédimentation sont un type de projet qui permettrait d'intégrer les activités de différentes disciplines. La dynamique des chaînes alimentaires benthiques, les quotients apport/production organique et autres indices d'efficacité, tels que la proportion des apports métabolisés (Hargrave 1973), peuvent être reliés de façon prévisible à un petit nombre de variables. On est en train de comparer sur cette base de récentes mesures de sédimentation dans deux baies de la côte est (baie St. Margaret et bassin Bedford, N.-É.) et des mesures plus anciennes dans la baie Departure, C.-B. (Stephens et al. 1967). Ces études, cependant, souffrent du fait que leurs cadres, plus précisément les sites de collection, et l'analyse des données sont limités à une seule discipline (biologie), avec très peu d'interaction avec d'autres domaines qui leur sont étroitement reliés (géologie, sédimentation, chimie).

L'élaboration d'hypothèses vérifiables et de modèles généraux applicables aux processus biologiques des systèmes benthiques ne peut être fondée sur l'observation seulement. Une manipulation expérimentale de l'environnement, telle que l'emploi de récifs artificiels (Scarrat 1968) et le chalutage pour déterminer ses effets sur les communautés benthiques (Caddy 1973), doivent compléter les méthodes traditionnelles d'observation, si l'on veut quantifier les changements qui se produisent dans le milieu. On met très peu à profit les perturbations du milieu comme outil expérimental de recherche benthique. Elles fournissent pourtant la méthode la plus directe d'étude des mécanismes qui régissent les voies métaboliques et les processus dans les systèmes écologiques.

Dans leurs études d'aquiculture et de pollution, les écologistes benthiques devraient profiter des perturbations de l'environnement causées par l'homme. Par exemple, la construction de brise-lames et de digues peut augmenter la durée de rétention des matériaux dans les baies, de sorte que la quantité de biomasse exportée vers les eaux du large est réduite. Dans l'estuaire de la rivière Squamish, C.-B., le détournement de la rivière et l'endiguement peuvent avoir réduit la chasse de la biomasse d'amphipodes (*Anisogammarus confervicolus*) (Levings 1974). Comme les amphipodes sont à la base de l'alimentation des jeunes salmonidés (ME 1972), cet estuaire ainsi dérangé pourrait servir à l'élevage des poissons. La colonisation de déchets (e.g. résidus grossiers d'opérations minières) par une endofaune benthique devrait également être étudiée.

Un concept identifiable qui pourrait être appliqué aux communautés benthiques est celui de l'optimalisation, c'est-à-dire la préservation de conditions optimales au maintien de la productivité et de la diversité naturelles d'une communauté face aux activités de l'homme. Cependant, l'application de ce principe requiert un but bien défini. Bien que ce but soit explicite dans des études visant à prédire le rendement soutenu, il n'est pas très apparent dans d'autres approches aux systèmes benthiques. De plus, on ne peut obtenir de rendements optimums d'une espèce dans un système naturel sans qu'il se produise un changement dans la diversité des espèces. Ceci, à son tour, peut diminuer la stabilité de la communauté. Nous n'avons pratiquement aucun fondement théorique nous permettant de prédire ces effets dans les communautés benthiques.

Pour bien comprendre les processus des systèmes benthiques, comme ceux de tous les écosystèmes naturels, il est nécessaire d'identifier les propriétés du système qui sont indépendantes des espèces qui le composent. Tout en continuant d'étudier la dynamique d'organismes particuliers, surtout ceux d'intérêt commercial, il nous faut également quantifier les propriétés générales des communautés, telles que la stabilité (résilience et persistance) et le métabolisme. Par exemple, des mesures de l'information et du contenu énergétique total des communautés peuvent servir d'indicateurs pour prédire la maturité et l'organisation du système. Ces caractéristiques, en plus d'être propres à une communauté donnée, peuvent aussi servir de bornes à l'intérieur desquelles opèrent toutes les fonctions de l'écosystème.

IV. Quelques problèmes de méthodologie

Avant que les écologistes du benthos marin au Canada puissent s'orienter vers des objectifs modernes, il est bon de mentionner certains problèmes qui méritent une attention spéciale. Si ces problèmes ne sont pas résolus, la recherche benthique sera grandement entravée.

A. Taxonomie

La recherche sur les organismes benthiques des eaux canadiennes souffre d'un manque d'ouvrages taxonomiques et de clefs régionales pour les espèces dominantes.

La faune de fond de la région peu profonde du nord-ouest de l'Atlantique est caractérisée par un petit nombre d'espèces, comparativement à celle du nord-est du Pacifique (Ekman 1953). L'identification est donc ordinairement plus facile sur la côte de l'Atlantique. Les clefs ou guides régionaux sont toutefois rares. Avec grand risque d'erreurs, les chercheurs doivent dépendre de clefs américaines (e.g. celles de Woods Hole) et de publications européennes (e.g. série Faune de France). Sur la côte du Pacifique, les biologistes doivent utiliser des clefs ou des guides de la côte de Washington (e.g. clefs de Friday Harbour) ou les publications soviétiques. Il y a peu de travaux spécialisés sur la faune de la Colombie-Britannique, à l'exception de récentes publications sur les polychètes (e.g. Hobson et Banse 1974).

Il y a donc un urgent besoin de guides et/ou de clefs fondés sur les connaissances, les spécimens et les collections déjà en existence. L'échantillonnage pour fins taxonomiques doit être soigneusement réglé, car il existe déjà de grandes collections de benthos dans certains laboratoires, qui sont présentement en voie d'être analysées (Bernard et al. 1967, 1970; Lee et Bourne 1973; Brunel 1970; figure 11). Une bonne partie de ce travail taxonomique devrait être confiée aux musées fédéraux et provinciaux. Le Centre canadien d'identification océanographique des Musées nationaux du Canada à Ottawa, en collaboration avec les musées provinciaux, devrait établir des centres de service taxonomique près des côtes, afin d'éviter l'expédition de spécimens biologiques à des milliers de kilomètres. On devrait mettre sur pied un système par ordinateur pour conserver et traiter les données taxonomiques et les listes de distribution géographique.

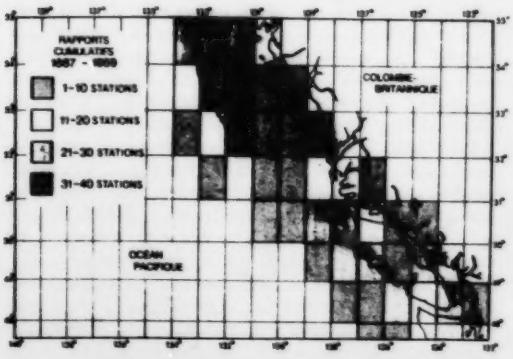


Fig. 11. Intensité de l'échantillonnage lors de recensements qualitatifs benthiques sur la côte du Pacifique (extrait de Bernard et al. 1970). Les données ont été obtenues en faisant la somme des stations échantillonnées sur des superficies comprises entre un degré de latitude et de longitude

B. Méthodologie de l'échantillonnage

Pour les études au-delà de la zone des marées, il y a peu d'alternatives aux appareils traditionnels d'échantillonnage du fond, tels que les bennes. En eau peu profonde, la plongée en scaphandre autonome aide considérablement l'écologiste à obtenir un échantillon véritablement quantitatif et à faire, dans le milieu même, les mesures qui s'y rattachent. La plongée d'observation est possible dans les profondeurs du plateau continental, mais une reconnaissance rapide sur de grandes superficies (e.g. les Grands bancs) nécessiterait plusieurs unités et du personnel entraîné, à cause des limitations physiologiques de la plongée à ces profondeurs. Les petits submersibles de recherche présentement utilisés ont une capacité limitée de prélèvement d'échantillons: leurs bras ne peuvent manoeuvrer que de petits appareils, tel un mini-préleveur de carottes. Des échantillons en plusieurs exemplaires d'au moins 0.1 m^2 de superficie et de 10 litres de volume sont généralement requis pour une détermination adéquate de biomasse des fonds mous. À l'aide de petits préleveurs de carottes, les submersibles existants peuvent obtenir des échantillons de sédiment, de bactéries et de méiofaune, mais cela n'a pas été essayé au Canada.

Un nouveau type de véhicule sous-marin est donc requis pour poursuivre des recherches benthiques sur les plateaux continentaux et dans les eaux côtières du Canada. Par exemple, un sous-marin conventionnel (militaire) pourrait être équipé pour des travaux d'écologie benthique. Les scientifiques soviétiques ont utilisé un grand sous-marin (le *Severyanka*) pour des observations entre deux eaux, mais un submersible de ce type n'a pas été utilisé pour des travaux benthiques. Il serait également possible d'employer des véhicules télécommandés (e.g. jeeps sous-marins — voir Horsfield et Stone 1972), tels que ceux qu'on a proposés pour les opérations minières sous-marines.

Quand on aura développé un véhicule et des appareils d'échantillonnage adéquats, les techniques d'échantillonnage devront être étalonnés parmi les chercheurs, de façon que les données soient comparables. On devrait attacher une attention particulière à la grandeur de mailles dans le tamisage d'échantillons de fonds mous. Les botanistes ont déterminé la superficie minimale requise pour l'échantillonnage des communautés végétales (Westhoff et van der Maarel 1973). On devrait faire la même chose pour les communautés benthiques des eaux canadiennes.

V. Besoins futurs spécifiques pour le Canada

On reconnaît deux types distincts de besoins futurs pour la recherche écologique au Canada: besoins qu'il est possible de satisfaire et que l'on peut déjà prédire

par l'orientation que prend la recherche présente et par des objectifs qui veulent développer une base théorique à partir de laquelle on étudiera les systèmes écologiques. L'ordre dans lequel nous énumérons ces besoins ne reflète pas nécessairement celui des priorités.

(i) Le rôle de la faune intertidale dans l'alimentation des poissons, l'apport d'éléments nutritifs par les sédiments pour la production de phytoplancton, d'algues benthiques et de plantes vasculaires, comme source directe de nourriture et comme mécanisme de production de détritus, sont tous des facteurs qui reflètent l'importance des processus liés au benthos dans la productivité côtière. Ces processus devraient être étudiés dans le plus grand nombre possible d'environnements côtiers (e.g. petites baies protégées et non protégées). Ceci permettra de construire des modèles applicables à diverses conditions d'échange d'eau.

(ii) On pourra construire des modèles montrant la relation entre les apports de matériaux et les communautés benthiques. On peut y arriver en combinant des mesures ou des indices de production primaire et de sédimentation avec des estimés de décomposition, tant dans la colonne d'eau qu'à la surface du sédiment. Ces modèles indiqueront le degré auquel les processus, à l'intérieur des communautés benthiques, peuvent intégrer les événements qui se produisent dans l'eau qui les recouvre. Des études de ce genre sont également un point de ralliement pour les autres disciplines (géologie, sédimentologie et chimie) portant sur les différents aspects du comportement des matériaux particulaires dans la colonne d'eau et à la surface du sédiment. Des études comme celles-ci effectuées dans des régions côtières (baies, fjords) et dans des régions du large (Grands bancs, détroit d'Hécate) permettraient de plus une mesure quantitative directe de l'importance des événements à la surface du sédiment dans les eaux côtières peu profondes. Afin d'utiliser efficacement le temps des bateaux, on devrait encourager des croisières conjointes avec des géologues (e.g. Commission géologique du Canda) et des biologistes. On a déjà fait un pas dans ce sens sur la côte de l'ouest.

Le transfert d'énergie dans les poissons qui se nourrissent au fond devrait faire partie de ce programme de recherches, et les bancs de pêche du large de Terre-Neuve et de la Nouvelle-Écosse devraient être l'objet d'une attention particulière. Nos connaissances sur ces régions sont presque inexistantes, en dépit du fait que leurs habitats benthiques produisent des milliers de tonnes de protéines annuellement. En combinant les données benthiques existantes (Nesis 1965) avec les volumineuses statistiques de prises des organismes de pêche, on pourra choisir une aire d'étude appropriée au large de Terre-Neuve. Si l'on choisit une région du plateau néo-écossais, il faudra d'abord faire un relevé de la biomasse benthique, car nous n'avons pas de données pour ces régions. On devrait également considérer un habitat représentatif pour les poissons benthiques ou démersaux sur la côte ouest (détroit d'Hécate).

(iii) On devrait étudier la biomasse des communautés dans diverses localités et combiner ces études avec des expériences de laboratoire sur l'alimentation d'invertébrés benthiques exploitables (e.g. homard, oursins de mer, divers mollusques, etc.). On pourra utiliser des modèles reliant la biomasse au rythme de croissance sous diverses conditions pour prédire une gamme de rapports production:biomasse en fonction des conditions de l'habitat. De telles données constitueraient un critère de base permettant d'estimer le rendement soutenu auquel on pourrait s'attendre dans une région donnée. De plus, il peut exister des niveaux généraux d'abondance, en particulier des niveaux de densité maximale qui, une fois identifiés, pourraient servir à déterminer les limites de structure des communautés et de là, le potentiel d'aquiculture.

Une récente transplantation de homards (*Homarus americanus*) de l'Atlantique dans le Pacifique a fait ressortir l'importance capitale de connaissances océanographiques, surtout en ce qui a trait à l'écologie des larves, si l'on veut faire des prédictions. À cause d'une chasse d'eau dans la région d'étude sur la côte ouest de l'île Vancouver, les larves de homard y étaient extrêmement rares. On en conclut qu'il faudrait un nombre considérable d'adultes pour y maintenir un stock commercial (Ghelardi et Shoop 1972).

On devrait encourager la revalorisation d'espèces benthiques existantes (e.g. Stewart 1974). En Colombie-Britannique, par exemple, il y a plusieurs espèces benthiques inutilisées, qui sont évidemment adaptées aux conditions locales. C'est le cas des moules (*Mytilus edulis*), de la crevette brune (*Crangon fransicorum*) et du homard à quatre épines (*Munida quadrispina*). Par contraste avec les espèces locales, le développement d'espèces exotiques comporte souvent un risque d'introduction accidentelle de plantes ou d'animaux indésirables (e.g. l'algue *Sargassum muticum* introduite en même temps que l'huître japonaise: Quayle 1969).

(iv) Il faudra trouver des échelles temporelles appropriées de changements et les quantifier par des mesures adéquates de structure de communautés. On sait déjà que les associations et la diversité des espèces, ainsi que la biomasse faunique totale donnent une indication qualitative des changements qui se produisent dans le milieu. Les relations doivent cependant être quantifiées avant qu'on puisse leur donner une application générale et les utiliser pour des prédictions. On devrait établir des stations de contrôle continu dans des régions côtières productives, sur des bancs de pêche et dans des baies où existent des industries, et poursuivre des programmes de relevés conjoints avec le personnel des musées fédéraux et provinciaux et celui des laboratoires gouvernementaux. Ces relevés doivent se faire dans des régions où il y a présentement des programmes de contrôle continu et/ou de recherches, de façon à obtenir les données supplémentaires qui permettront de faire des comparaisons. Il faudra reconnaître que les fluctuations dans les communautés benthiques se produisent sur plusieurs échelles temporelles, selon la durée de vie des espèces qui composent la communauté. Les petites espèces ont une courte durée de vie et réflètent les changements à court terme (mensuels, annuels) des conditions ambiantes. Les grandes espèces, qui vivent plus longtemps, peuvent supporter les conditions ambiantes durant plusieurs décennies.

(v) Les expériences de rehaussement et de dérangement des systèmes benthiques naturels fournissent

des données qu'il serait impossible d'obtenir autrement. On se rend compte des limitations imposées aux études expérimentales du plancher de l'océan, quand on songe qu'il n'existe pas d'appareil d'échantillonnage capable de prélever des carottes non remuées en même temps que l'eau qui les recouvre, et de maintenir la température et la pression du milieu. En plus du problème de la collection d'échantillons, il y a un besoin urgent de développer et de financer des unités expérimentales d'eau profonde et d'eau peu profonde pour investigations in situ. L'emploi de sous-marins capables de demeurer à la surface du sédiment pendant plusieurs jours pour des recherches de ce genre serait un excellent prolongement de la technologie dont dispose la recherche militaire. Les recherches sur les habitats sous-marins en cours au Département de génie de l'Université Memorial de Terre-Neuve (English 1973) devraient être intensifiées. Tous les habitats sous-marins destinés aux eaux canadiennes doivent être capables de supporter de basses températures.

(vi) Afin de bien comprendre les facteurs qui contrôlent la structure des communautés benthiques, il faudra développer des méthodes permettant d'étudier les propriétés de la communauté considérée comme un tout. La distribution des tailles, les modalités spatiales d'abondance (hétérogénéité) et les fluctuations temporelles des nombres et de la biomasse sont des propriétés communes à toutes les communautés d'organismes. C'est seulement quand les systèmes écologiques seront envisagés dans ces termes qu'on aura une base théorique pour leur compréhension.

(vii) Les profondeurs de la mer sont l'un des habitats le moins connus de notre planète. Pourant, l'homme utilisera sans doute bientôt cet environnement et ses ressources. Les poissons du talus continental (e.g. grenadiers, famille des Macrouridae) seront probablement une source future de protéines si l'on réduit l'effort de pêche dans les eaux moins profondes. Il est probable, de plus, qu'on ait besoin de connaissances sur le benthos des eaux profondes, quand les opérations minières et les pipelines sous-marins seront choses communes et quand les gens s'inquièteront de l'impact écologique de telles activités.

Les communautés d'eau profonde sont généralement considérées comme isolées des couches supérieures. C'est pourquoi, là où il y a des eaux profondes près du littoral (e.g. C.-B., T.-N., Saguenay), on songe souvent à les utiliser pour se débarrasser des polluants (fig. 12). Cependant, les liens (énergie, écoulements, transfert de larves) entre les biocoenoses benthiques profondes et les biocoenoses pélagiques ne sont pas réellement connus et méritent notre attention. Lors d'une étude d'impact d'un fjord norvégien (500 m), Brattegard et Hoisater (1972), utilisant une variété d'échantillonneurs, démontrèrent que des animaux pélagiques et benthiques se trouvent souvent dans les mêmes habitats.

Les travaux en eau profonde qui se poursuivent présentement au Canada (e.g. les travaux de Mills sur le benthos d'eau profonde au large de Terre-Neuve) devraient être poursuivis. On devrait mettre l'accent sur le plateau continental, les habitats de « fosses côtières », surtout les fjords sur les rives desquels il y a des activités industrielles.

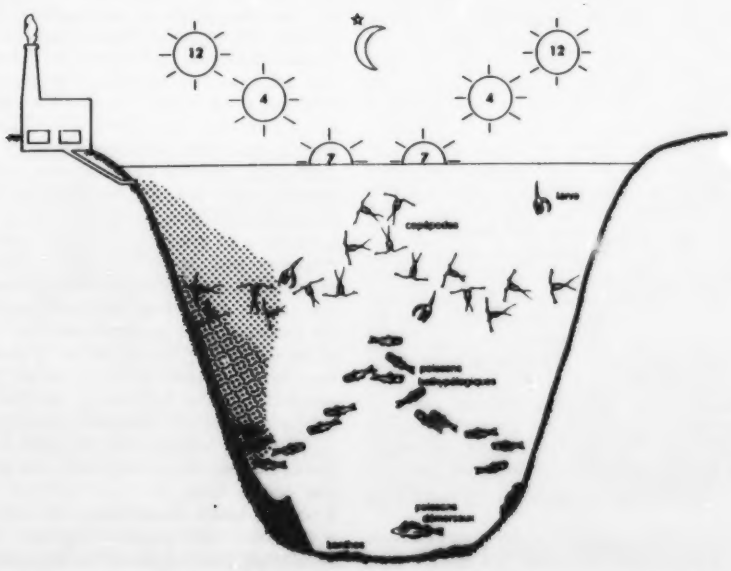


FIG. 12. Coupe transversale d'un fjord ou bassin profond, montrant les liens biotiques entre les systèmes benthiques et pélagiques.

BERKELEY, E., AND C. BERKELEY. 1954. Additions to the polychaete fauna of Canada, with comments on some older records. J. Fish. Res. Board Can. 11: 454–471.

BERNARD, F. R., N. BOURNE, AND D. B. QUAYLE. 1967. British Columbia faunistic survey. A summary of dredging activities in Western Canada 1878–1966. Fish. Res. Board Can. MS Rep. 920: 61 p.

1970. British Columbia faunistic survey. A summary of dredging activities 1967–1969. Fish. Res. Board Can. MS Rep. 1082: 7 p.

BOUSFIELD, E. L. 1956. Studies on the shore crustacea collected in eastern Nova Scotia and Newfoundland, 1954. Natl. Mus. Can. Bull. 142: 127–152.

BRATTEGARD, T., AND T. HOISATER. 1972. Benthic biology of Fensfjord. Unpubl. rep. for Norsk Hydro Biol. Stn. Blomsterdalen, Norway. 276 p.

BRUNEL, P. 1968. The vertical migrations of cod in the southwestern Gulf of St. Lawrence, with special reference to feeding habits and prey distribution. McGill Univ., Mar. Sci. Cent., Ph.D. Diss. 510 p.

1970. Catalogue d'invertébrés benthiques du Golfe Saint-Laurent recueillis de 1951 à 1966 par la Station de Biologie Marine de Grande-Rivière. Trav. Pêch. Qué. 32: 54 p.

CADDY, J. F. 1968. Underwater observations on scallop (*Placopecten magellanicus*) behaviour and drag efficiency. J. Fish. Res. Board Can. 25: 2123–2141.

1973. Underwater observations on tracks of dredges and trawls and some effects of dredging on a scallop ground. J. Fish. Res. Board Can. 30: 173–180.

DAVIS, D. S. 1973. Notes on a collection of specimens made by the *Challenger* expedition 1973. Curatorial Rep. No. 9, N.S. Museum. 12 p.

1972. Effects of existing and proposed industrial development on the aquatic ecosystem of the Squamish estuary. Fish. Serv., Vancouver, B.C. 38 p. & Append.

DICKIE, L. M. 1955. Fluctuations in abundance of the giant scallop *Placopecten magellanicus* (Gamelin), in the Digby area of the Bay of Fundy. J. Fish. Res. Board Can. 12: 797–857.

EKMAN, S. 1953. Zoogeography of the sea. Sidgwick and Jackson, London, Engl. 417 p.

ELLIS, D. V. 1968. Quantitative benthic investigations V. Species data from selected stations (Strait of Georgia and adjacent inlets), May 1965–May 1966. Fish. Res. Board Can. Tech. Rep. 73: 315 p.

1970. Ecologically significant species in coastal marine sediments of southern British Columbia. Syesis 2: 171–182.

ENGLISH, J. D. 1973. Lora-I — Canada's first ocean habitat. Paper presented at Fifth International Conference on Underwater Education. Dep. Eng., Memorial Univ., St. John's, Nfld.

GHELARDI, R. J., AND C. T. SHOOP. 1972. Lobster (*Homarus americanus*) production in British Columbia. Fish. Res. Board Can. MS Rep. 1176: 31 p.

HARGRAVE, B. T. 1973. Coupling carbon flow through some pelagic and benthic communities. J. Fish. Res. Board Can. 30: 1317–1326.

HOBSON, K., AND K. BANSE. 1974. Benthic errantiate polychaetes of British Columbia and Washington. Bull. Fish. Res. Board Can. 185: 111 p.

HORSFIELD, B., AND P. B. STONE. 1972. The Great Ocean Business. Coward, McCann, and Geoghegan, New York, N.Y. 268 p.

HUGHES, R. N., D. L. PEER, AND K. H. MANN. 1972. Use of multivariate analysis to identify functional components of the benthos in St. Margaret's Bay, Nova Scotia. Limnol. Oceanogr. 17: 111–121.

LEE, J. C., AND N. BOURNE. 1973. Marine bibliographical and review study of Pacific Rim National Park. Fish. Res. Board Can. MS Rep. 1276: 121 p.

LEVINGS, C. D. 1972. A study of temporal change in a marine benthic community, with particular reference to predation by *Pseudopleuronectes americanus* (Walbaum) (Pisces: Pleuronectidae). Ph.D. Thesis. Dalhousie Univ., Halifax, N.S. 201 p.

1974. River diversion and intertidal benthos at the Squamish River estuary, British Columbia. Proc. Symp. Influence of Fresh Water on Biological Processes in Fjords.

MANN, K. H. 1973. Seaweeds: their productivity and strategy for growth. Science 183: 975–981.

MEDCOF, J. C. 1961. Oyster farming in the Maritimes. Bull. Fish. Res. Board Can. 131: 158 p.

NESIS, K. N. 1965. Biocoenoses and biomass of benthos of the Newfoundland–Labrador regions. Trudy VNIRO 57: 453–483. (Fish. Res. Board Can. Trans. No. 2591)

NEWCOMBE, C. L. 1936. A comparative study of the abundance and rate of growth of *Mya arenaria* L. in the Gulf of St. Lawrence and Bay of Fundy regions. Ecology 17: 418–428.

PEER, D. L. 1963. A preliminary study of the composition of benthic communities in the Gulf of St. Lawrence. Fish. Res. Board Can. MS Rep. Ser. 145: 24 p.

PEER, D. L. 1970. Relation between biomass, productivity and loss to predators in a population of a marine benthic polychaete *Pectinaria hypoborea*. J. Fish. Res. Board Can. 27: 2143–2153.

QUAYLE, D. B. 1969. Pacific oyster culture in British Columbia. Bull. Fish. Res. Board Can. 169: 192 p.

1971. Pacific oyster raft culture in British Columbia. Bull. Fish. Res. Board Can. 178: 34 p.

REGIER, H. A., P. L. BISHOP, AND D. S. RAPPORT. 1974. Planned transdisciplinary approaches: renewable resources and the natural environment, particularly fisheries. J. Fish. Res. Board Can. 31: 1683–1703.

SCARRATT, D. J. 1968. An artificial reef for lobsters (*Homarus americanus*). J. Fish Res. Board Can. 25: 2683–2690

STEPHENS, K. R. W. SHELDON, AND T. R. PARSONS. 1967. Seasonal variations in the availability of food for benthos in a coastal environment. Ecology 48: 852–855.

STEWART, J. E. 1974. Potential for culture of invertebrates in Canada. Bull. Fish. Res. Board Can. 188: Sect. II: 36–52.

THOMAS, M. L. H. 1970. Studies on the benthos of Bideford River, Prince Edward Island. Ph.D. Thesis. Dalhousie Univ., Halifax, N.S.

TYLER, A. V. 1968. Food resource division in a community of marine fishes. Ph.D. Thesis. Univ. Toronto, Toronto, Ont.

1971. Surges of winter flounder (*Pseudopleuronectes americanus*) into the intertidal zone. J. Fish. Res. Board Can. 28: 1727–1732.

WESTHOFF, V., AND E. VAN DER MAAREL. 1973. p. 617–726. *In* R. H. Whittaker [ed.] Part V, handbook of vegetation science, ordination and classification. Junk, The Hague.

WHITEAVES, J. F. 1887. On some marine invertebrates dredged or otherwise collected by Dr. G. M. Dawson in 1885, in the northern part of the Strait of Georgia, in Discovery Passage, Johnstone Strait, and Queen Charlotte and Quatsino sounds, British Columbia; with a supplementary list of a few land and freshwater shells, fishes, birds, etc., from the same region. Trans. Roy. Soc. Can. for 1886. Vol. 4, Sec. 4: 111–134.

1901. Catalogue of the marine invertebrata of eastern Canada. Geol. Surv. Can. 772: 271 p.

ZENKEVITCH, L. A. 1963. Biology of the seas of the USSR. (Traduction par S. Botcharskaya). George Allen & Unwin Ltd., London, Engl. 955 p.

ANNEXE II

Océanographie biologique dans les eaux arctiques et sous-arctiques canadiennes

M. J. DUNBAR

Centre des sciences marines, Université McGill, Montréal, Qué.

Historique

On peut dire que l'histoire de l'océanographie biologique dans les mers arctique et sous-arctique canadiennes a débuté en 1914 avec le voyage du *Burleigh*. Ce navire avait été chargé par le ministère du Service Naval de faire des recherches sur les pêches dans la baie d'Hudson et la baie James. Ou encore, elle a débuté avec les études de pionnier de Fritz Johansen dans la baie d'Hudson en 1920. Il n'est pas nécessaire de couvrir en détail cette période du début. Qu'il nous suffise de mentionner deux importantes expéditions, celle de l'*Arleux* et du *Prince* dans le détroit de Belle-Isle en 1923 (sous la direction du Dr Huntsman) et l'expédition des pêches du *Loubyrne* dans la baie d'Hudson en 1930. Cette dernière démontra que la baie d'Hudson ne pouvait supporter de pêcheries commerciales. Bien des entrepreneurs, par la suite, acceptèrent difficilement ce fait.

Le Programme de recherches de l'Arctique oriental de l'Office des recherches sur les pêcheries du Canada débuta en 1947 dans la baie d'Ungava. Cette année-là, un de mes étudiants postgradués, Henry Hildebrand, et moi-même y travaillèrent durant quelque 3 mois, n'ayant pour toute « plate-forme de recherche » qu'une petite barque de trappe. Les objectifs, établis pour un avenir indéfini, étaient (1) une étude générale de l'océanographie biologique de l'Arctique oriental et (2) la recherche de ressources renouvelables qui pourraient être développées dans l'intérêt de la population indigène. Un mandat aussi vaste nécessitait de toute évidence un navire de recherches. En août 1948, le *Calanus*, un ketch de 50 pi à moteur diesel fut donc lancé à Mahone Bay et fit route vers Fort Chimo. Il est encore en service dans l'Arctique oriental.

Le terme « océanographie biologique » a été interprété dans son sens large, tel que défini dans le corps principal de ce rapport. Cette science inclut non seulement le cycle de production du plancton, mais aussi les niveaux tertiaires (poissons, mammifères), les conditions du milieu et la stabilité écologique. Cependant, bien des études biologiques dans l'Arctique se limitent à une espèce, surtout de mammifère, et il n'y a eu que peu de progrès dans ce qu'on appelle maintenant « océanographie biologique ». On ne pouvait pas non plus s'attendre à de grands progrès, à cause d'un personnel extrêmement limité à l'Unité arctique (maintenant appelée Station biologique de l'Arctique) et du domaine presque vierge qu'on commençait à étudier. Les observateurs les plus agréablement surpris de notre intérêt dans l'Arctique furent probablement les Danois: les travaux d'envergure qu'ils poursuivaient au Groenland occidental ne rencontreraient plus dorénavant ce manque total de connaissances à l'ouest du milieu de la baie Baffin.

Les premières années furent consacrées à des pêches expérimentales à la palangre et au chalut à perche. Comme on pouvait s'y attendre, les résultats furent négatifs en ce qui concerne les possibilités de pêche commerciale. On fit également des études fauniques et systématiques de base en vue d'évaluer la nature et la richesse de la faune. On mit l'accent sur les animaux plutôt que sur les plantes. Durant ces premières années, la liste des publications, qui s'allongea rapidement, comprit des travaux sur les poissons (de la baie d'Ungava), larves de poissons, polychètes, amphipodes, cirripèdes, copépodes, échinodermes et crustacés décapodes; on publia également un travail sur le phytoplancton et une étude sur la question, alors d'actualité, du statut de *Calanus glacialis*. On insista

davantage à ce stade sur l'abondance et la distribution. Vinrent ensuite des articles sur des sujets biologiques ou écologiques, tels que les cycles reproducteurs, les rythmes de croissance et la dynamique des populations d'organismes importants du système ou d'intérêt pratique pour les Inuit; ces derniers travaux portèrent sur l'omble chevalier, le phoque annelé, le phoque barbu, la moule bleue, *Sagitta elegans*, *Parathemisto libellula* et sur le zooplancton en général. On commença à accorder plus d'attention au benthos, qui avait été collectionné depuis le début des opérations, mais dont l'interprétation et la publication des résultats avaient été en grande partie mises de côté pour donner priorité au plancton et aux mammifères.

Le régime hivernal a été nécessairement négligé durant les premières années d'opération, surtout à cause des frais élevés de transport. La première série d'observations couvrant toute l'année fut celle de Grainger dans le bassin Foxe en 1955–56; Mansfield fit des travaux dans le nord de la baie d'Hudson durant l'hiver 1955, surtout sur les mammifères. Le besoin de travaux d'hiver s'est toujours fait sentir, et on a accompli beaucoup depuis. L'étude du bassin Foxe produisit une abondance d'information nouvelle, à laquelle on a beaucoup ajouté; les résultats ont été publiés dans deux articles, l'un par Grainger (1959) et l'autre par Bursa (1961). Ces deux travaux servent en quelque sorte de fond de scène au début de l'océanographie « en profondeur » dans l'Arctique canadien. Ils sont assez importants pour que nous en citions les résumés et chiffres clefs suivants:

> « Les populations de phytoplancton près d'Igloolik, secteur nord du bassin Foxe, commencent à augmenter à la fin d'avril et atteignent un maximum à la mi-août. Leur déclin rapide, vers la fin d'août, coïncide avec celui de la lumière. Les diatomées sont les principaux producteurs de biomasse à Igloolik et la nourriture principale de la faune marine. La succession des Pennatae au printemps et des Centricae en été est apparamment causée par la lumière et les conditions de la glace. La composition taxonomique du phytoplancton d'Igloolik est influencée par la banquise côtière et par le peu de profondeur et l'uniformité hydrographique des régions avoisinantes. Nous décrivons deux nouvelles espèces de dinoflagellés, *Gyrodinium arcticum* et *Gymnodinium intercalaris*, et un nouveau flagellé cocolithine, *Pontosphaera ditrematolitha*. » (Bursa 1961)

> « Les matériaux utilisés furent recueillis de septembre 1955 à septembre 1956 près d'Igloolik, dans le secteur nord-ouest du bassin Foxe, dans l'Arctique canadien. Une seule station, à environ 1 mille du rivage et à une profondeur de 52 m, a été occupée 27 fois durant l'année. Cette station est située dans une région d'écoulement net d'eau arctique en provenance du détroit de Fury et Hecla, dont les forts courants sont responsables de conditions hydrographiques et de populations toujours changeantes à la station. La glace de mer se forma tôt en novembre et avait atteint au début de mai une épaisseur d'environ 152 cm. La fonte commença à ce moment-là et se poursuivit jusqu'à ce que la station fusse libre de glace ancrée peu après la mi-juillet. La température de l'eau ne varia que de 3.55°C à toutes les profondeurs durant l'année, et de seulement 0.7°C de novembre à mai. La température la plus basse fut de −1.75° à 50 m en avril et mai, la plus élevée de 1.80° à la surface au début de septembre. Les salinités varièrent d'un maximum de 32.59‰ au début de mai à moins de 1.68‰ à la surface à la mi-juillet. Une mince couche d'eau saumâtre, n'excédant probablement pas 2 m d'épaisseur, se forma à la surface durant la période de fonte de la glace, de la fin de juin au début d'août. La teneur en oxygène dissous varia de 9.52 ml/litre au début de juillet à 4.08 ml/litre au début de septembre. Le maximum de saturation enrégistré fut de 110.3% à 10 m le 15 juillet. Le phosphate inorganique dissous monta de près de zéro en février à un maximum de 1.5 µg-at/litre à la mi-juin, pour ensuite décliner jusqu'en automne.
>
> « Le volume de zooplancton (du filet à grandes mailles) fut maximal à la fin de septembre (4.85 ml par trait de 50 min), minimal à la mi-avril (0.15 ml). Dans le matériel identifiable, les copépodes étaient le groupe le plus important volumétriquement. Vingt-huit espèces ont été identifiées, les formes les plus nombreuses étant les copépodes (*Pseudocalanus minutus*, *Calanus finmarchicus*, *C. hyperboreus*, *Oithona similis*), les chaetognathes (*Sagitta elegans*), les larves de cirripèdes, les méduses (*Halitholus cirratus*) et les appendiculaires (*Frittilaria borealis*). Il a été possible de recueillir des renseignements sur le cycle biologique des espèces les plus abondantes. Toutes les espèces de plancton avaient déjà été recueillies dans l'Arctique, et toutes sont circumpolaires (avec une exception possible).
>
> « Les périodes de propagation des planctontes surtout herbivores coïncident avec l'abondance de la nourriture phytoplanctonique. Leur cycle annuel d'abondance montre un maximum au moment de la reproduction (été), suivi d'un déclin progressif jusqu'à la fin de l'hiver. Par contraste, les planctontes surtout herbivores montrent une variation numérique relativement faible durant toute l'année, en hiver pour plusieurs. Un estimé grossier de la biomasse moyenne annuelle du zooplancton d'Igloolik (sans correction pour l'efficacité de filtrage d'un filet n° 6xxx) est de 0.10 ml/m³ ou 5.2 ml/m³ de superficie; le maximum observé fut de 0.50 ml/m³. Une autre localité côtière arctique, au Groenland, indique des chiffres semblables; les stations boréales côtières ont des biomasses de 4 à 8 fois plus grandes (sur base de superficies). » (Grainger 1959)

La figure 13 montre les oscillations extrêmement grandes de la biomasse du phyto- et du zooplancton arctiques. Les données montrent également le développement saisonnier tardif des poussées planctoniques et l'absence d'un second pic (automnal) de production, caractéristique des régions tempérées. On mentionne une augmentation mineûre de phytoplancton en février–avril, possiblement liée au comportement de

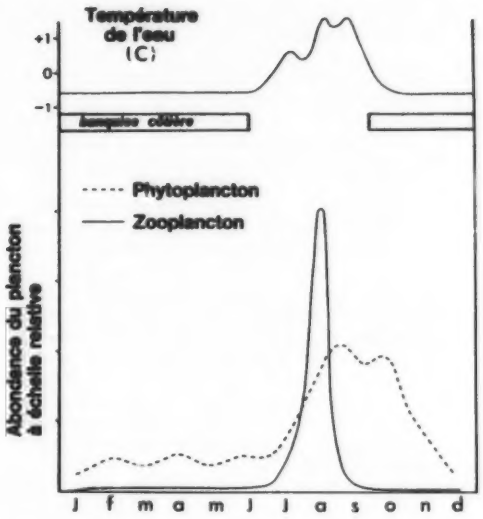


FIG. 13. Changements saisonniers de la température de l'eau et de l'abondance du plancton dans le bassin Foxe. Adapté de Grainger (1959) et Bursa (1961).

la biocoenose des glaces, qui a besoin d'être étudiée davantage. Il y a de plus une curieuse apparition de dinoflagellés en décembre. Un autre point intéressant est la difficulté avec laquelle le phosphate est régénéré (Grainger 1959). Le phosphate ne s'élève pas avant juin au-dessus du faible niveau hivernal, ce qui donne à croire que les bactéries responsables de la régénération ne sont pas adaptées aux très basses températures: elles ne règleraient donc pas leur métabolisme en stricte proportion d'un changement de température. Ceci est quelque peu en désaccord avec les résultats obtenus plus tard par Grainger, lors de travaux d'hiver dans la baie Frobisher, démontrant une production de phosphate beaucoup plus rapide (résultats du PBI, sous presse).

À cause de grandes variations annuelles, typiques des systèmes arctiques, on a besoin de travaux du type décrit plus haut, répartis sur toute l'année et couvrant un minimum de 3 ans. Le travail sur le terrain en 1969–70 dans la baie Frobisher, par exemple, a démontré que la production primaire totale pouvait doubler durant les années chaudes et à débâcle hâtive, par comparaison aux années plus tardives et plus froides.

L'océanographie biologique doit couvrir l'environnement complet, y compris l'océanographie physique. Au cours de tous les travaux de l'Unité arctique de l'ORP, les biologistes ont fait des observations océanographiques, ce qui n'a pas été sans avantages, car les biologistes savent mieux que les physiciens ce dont ils ont besoin. Par exemple, certaines études effectuées par des biologistes ont permis d'établir une différence significative entre les zones marines « arctiques » et « sous-arctiques », fondée en partie sur des caractères physiques, mais davantage sur des mesures de productivité et sur la distribution des organismes. Les définitions, dans leur essence, sont simples: la zone arctique comprend les régions marines dans lesquelles les 200–300 m supérieurs d'eau ont une origine purement arctique; les zones sous-arctiques sont les régions recouvertes d'un mélange d'eau d'origine arctique et non arctique. Ces zones sont indiquées à la figure 14. Les principaux résultats des travaux d'océanographie physique exécutés par le Groupe arctique de l'ORP dans l'Arctique oriental, 1949–55, ont été publiés par Dunbar (1958) et sont en grande partie descriptifs. Des points intéressants sont l'absence probable d'eau d'origine atlantique dans la baie d'Hudson et la prédominance d'inversions de densité dans les régions de forte activité de marée à certains moments de son cycle. Des expéditions d'océanographie physique organisées par d'autres laboratoires ont couvert les eaux du nord du Canada sur une grande échelle; le manque de travaux, sur une plus petite échelle, dont les biologistes ont besoin est examiné plus bas.

La différence essentielle des masses d'eau entre les zones arctiques et sous-arctiques a permis d'utiliser un système assez direct d'*indicateurs planctoniques*. Ce système est apparu pour la première fois dans un contexte canadien avec les travaux de Nancy Frost, à la Station de recherches de Terre-Neuve, au cours des années 1930. Elle a utilisé une espèce particulière de *Ceratium*. Les méduses, *Hybocodon prolifer* par exemple, sont utilisées comme indicateurs d'eau atlantique, et les crustacés *Parathemisto libellula*, *Pseudolibrotus glacialis* et *nanseni*, et *Calanus glacialis* comme indicateurs d'eau arctique. Il y a bien d'autres exemples.

Un développement intéressant des 15 dernières années a été l'étude des *biocoenoses de glace*, diatomées et communautés associées vivant dans la couche inférieure de la glace de mer et aussi, à un degré moindre, juste au-dessous de la neige à la surface de la glace. On a

FIG. 14. Limites approximatives des parties arctique, sous-arctique (terre, hachuré; mer, pointillé) et nord des zones boréales (extrait de Dunbar 1968).

résolu certains problèmes préliminaires, mais il en reste encore beaucoup à résoudre. Rita Horner a récemment fait une revue du sujet (MS inédit, Proc. SCOR/SCAR Polar Oceans Conference 1974). Grainger (MS indédit et Proc. SCOR/SCAR Polar Oceans Conference 1974) a décrit le cycle annuel des éléments nutritifs et des diatomées dans la glace de mer de la baie Frobisher. La production est loin d'être négligeable. C'est ainsi, par exemple, que la croissance des diatomées dans la couche supérieure ou couche de neige de l'Antarctique a été estimée comme équivalant à un demi-million de tonnes de carbone par jour pour tout l'Antarctique. Des concentrations de chlorophylle *a* de 300–400 mg m^{-3} ont été mesurées, tant dans l'Antarctique que dans l'Arctique. Ces concentrations sont de beaucoup supérieures à celles qu'on trouve dans la mer sous la glace au moment des poussées planctoniques; cependant, il faut se rappeler que les diatomées sont concentrées sur une bande étroite dans la glace. Les concentrations de chlorophylle par mètre carré permettent une comparaison beaucoup meilleure; les estimés sont de l'ordre de 25 à 100 mg. m^{-3}, ce qui est comparable aux biomasses de phytoplancton dans l'océan Arctique. On a constaté que la croissance dans la partie inférieure de la glace était beaucoup plus forte qu'ailleurs, bien que la littérature à ce sujet prête un peu à confusion. Il n'est pas nécessaire de répéter ici ce qui a été récemment passé en revue ailleurs. Il est clair, cependant, que la biomasse de l'intérieur de la glace représente une importante fraction de la production totale de l'océan Arctique. Elle contribue de plus à prolonger de beaucoup la saison productive au-delà de celle du phytoplancton contenu dans l'eau. Cette biomasse est également importante au point de vue évolution, parce qu'elle fournit une nourriture pour les producteurs secondaires sur une plus longue saison, et aussi parce qu'elle représente une étroite concentration, presque à deux dimensions, de production dans une région par ailleurs improductive. Sous ce rapport, les biocoenoses de glace peuvent être comparées aux récifs de coraux et aux lits d'herbe à tortue (*Thalassia*) sous les tropiques, qui sont aussi des régions localisées de haute productivité dans un voisinage de faible productivité. Les trois systèmes semblent tous maintenir leurs ressources dans des espaces limités, les gardant jalousement contre toute fuite à l'extérieur. Comme tels, on les qualifie de « systèmes matures » en écologie moderne. Il est intéressant de songer que le système intérieur des glaces dans les régions polaires soit plus mature que les autres; il mérite d'être étudié davantage. Sûrement, ce système doit capter les éléments nutritifs lorsqu'ils filtrent vers le bas dans le processus hivernal normal, de même que les autres sels accumulés dans la glace au cours de la congélation. Possiblement, une partie de cet apport nutritif est régénérée à l'intérieur même de la glace. Les concentrations de phosphate dans la glace peuvent être extraordinairement élevées: plus de 8 µg-at/litre dans la baie Frobisher et plus de 6 µg-at/litre dans le golfe Saint-Laurent.

Les travaux canadiens en océanographie biologique dans le nord n'ont pas tous été faits par l'Office des recherches sur les pêcheries. L'Université McGill en a effectué une bonne partie. Hansen (Hansen et al. 1971) a passé plusieurs mois sur l'île de glace T-3 à étudier les couches dispersantes dans la mer de Beaufort. Il en a découvert deux: une à 50 m causée par des mollusques ptéropodes et une autre, plus profonde, mais de profondeur variable, probablement causée par le saida. Bulleid (ibid) a poursuivi des travaux sur la systématique et l'origine des copépodes planctoniques de l'océan Arctique. Harding (Dunbar et Harding 1968), travaillant lui aussi sur T-3, a examiné la distribution verticale du macroplancton de l'océan Arctique, étude qui s'est développée un peu comme une réinterprétation du point de vue classique (Nansen) de la structure de l'eau et des masses de cet océan. Steele, à l'Université Memorial, a contribué beaucoup à nos connaissances sur la systématique et la distribution des amphipodes dans le nord (e.g. Steele 1972). McLaren (1967a, b) a étudié en détail un écosystème très spécial dans un lac salé à plage surélevée, le lac Ogak, sur le bord de la baie Frobisher, avec sa faune d'eau chaude spécialisée et sa communauté relictuelle. Finalement, Dunbar, dans une série d'articles (e.g. Dunbar 1968), a apporté des additions à la fois empiriques et théoriques à l'étude des écosystèmes polaires, de leur évolution et de leur maintien.

Situation et programmes présents

L'Office des recherches sur les pêcheries a entrepris des recherches marines dans l'Arctique après la Seconde guerre mondiale en réponse à un besoin pressant — le nord canadien avait été grossièrement ignoré scientifiquement. Comme conséquence, nous étions très loin derrière les autres propriétaires de l'Arctique (surtout les Scandinaves à l'époque), et nous n'étions pas en mesure de nous occuper intelligemment d'un développement commercial et social imminent, encore moins d'un développement militaire déjà amorcé. Les réalisations de la Station biologique de l'Arctique, de ses débuts à l'Université McGill à son développement actuel à Sainte-Anne-de-Bellevue, ont été des plus impressionnantes, compte tenu de ses installations et de son personnel limités. Le programme a comporté au début des travaux de base sur la faune et la productivité, et sur l'exploitation des ressources en général. Il a ensuite évolué vers des travaux et collections sur le terrain, pour finalement aboutir à des travaux de plus en plus élaborés d'expérimentation en laboratoire et à des études d'écosystèmes. Ces dernières investigations commencèrent dans la baie Frobisher et s'étendirent vers l'Arctique occidental dans la région des lacs Eskimo. Ceci fut une conséquence du déplacement de la plupart des travaux de l'Office de l'est vers l'ouest pour faire face au défi immédiat des explorations de pétrole et de gaz. On a entrepris des travaux de laboratoire sur les taux métaboliques et sur l'adaptation métabolique, ainsi que des travaux de microbiologie, y compris bactériologie. Cependant, les études de métabolisme chez des organismes adaptés au froid, y compris les bactéries, sont peu avancées nulle part au monde, et on devra employer des techniques spéciales. On accorde maintenant plus d'importance à ces programmes. Les problèmes de logistique associés à ces programmes impliquent l'expédition de matériel vivant du nord au sud et des installations de viviers sur le terrain tout comme au laboratoire, ce qui rend l'opération très dispendieuse.

Il a fallu mettre l'accent sur les mammifères marins à cause de leur importance auprès des populations indigènes. On peut affirmer que les phoques et les morses sont maintenant protégés contre la surexploitation et qu'on a accumulé beaucoup de connaissances sur ces espèces. Cependant, il reste beaucoup de travail à faire sur les morses, le phoque barbu et les baleines. On commence aussi à comprendre les populations de poissons, et les travaux sur la systématique et la biologie du zooplancton sont avancés. Il reste encore beaucoup à faire sur la production primaire, la mesure de la production secondaire et le benthos.

Développement futur

Science fondamentale

Océanographie physique — Il existe un grand besoin de travaux en océanographie physique dans le nord, tant pour la science elle-même que pour sa relation avec le temps, le climat et les ressources biologiques. Comme l'indique le présent rapport, les travaux biologiques ont toujours souffert du manque de travaux parallèles sur l'environnement marin. Il y a eu des expéditions d'été dans la baie d'Hudson, le détroit d'Hudson, la baie Baffin et les eaux de l'Archipel, et dans la mer de Beaufort. Ces expéditions nous ont fourni des connaissances de base générales sur les mouvements de ces eaux et sur leur nature, mais le détail fait malheureusement défaut, et c'est ce dont le biologiste a besoin. À venir jusqu'ici, les travaux physiques et chimiques sur petite échelle dans les fjords et les détroits ont été effectués par les biologistes. Nous en sommes maintenant au point où l'on a grandement besoin de physiciens professionnels pour former des équipes adéquates. Par exemple, la circulation dans les estuaires, les marées, les vagues internes, la remontée d'eaux profondes sont le domaine du physicien. Ces études sont devenues tellement complexes et requièrent des techniques et des instruments tellement raffinés que seuls les professionnels peuvent s'en charger. La réponse usuelle des océanographes physiciens aux demandes de travaux détaillés dans le nord est: « Pourquoi? Quels sont les problèmes à résoudre? » Du point de vue du physicien, c'est sans doute là une réaction légitime, mais le biologiste a besoin d'une description détaillée, à quatre dimensions, de l'environnement. Il se peut que des demandes aussi banales n'attirent pas les meilleurs océanographes physiciens, mais le besoin est réel et pourrait être satisfait soit en ajoutant un ou deux océanographes physiciens au personnel de la Station biologique de l'Arctique de l'ORP, soit en assurant une étroite collaboration entre cette station et l'Institut Bedford, le Centre canadien pour les eaux intérieures ou le personnel des universités.

L'investigation du régime physique en hiver est particulièrement importante pour comprendre la productivité des eaux nordiques. Nous ne connaissons encore à peu près rien de la densité de la colonne d'eau sous la glace dans l'archipel Arctique et très peu ailleurs. Pourtant, cette structure verticale affecte vitalement le retour des éléments nutritifs à la surface. Certaines régions clefs ont grand besoin d'études physiques et chimiques, en hiver et en été; c'est le cas de la partie nord-est de la baie d'Hudson, où l'échange entre la baie d'Hudson, le bassin Foxe et le détroit d'Hudson est peu compris; du détroit de Lancaster, qu'on croit assez productif à en juger par la densité des populations de mammifères; du golfe de Richmond et de la baie James, qui seront tous deux affectés par le projet de développement hydro-électrique en cours; de l'Eau du Nord, peut-être la région la plus significative et la plus intéressante de toutes; et de la mer de Beaufort.

On devrait également attacher une importance spéciale à la microstructure physique de la colonne d'eau, dans le nord comme ailleurs. Ceci permettra probablement d'élucider plusieurs caractéristiques intrigantes de la production biologique. On sait, par exemple, que des profils de densité en gradins, plutôt que continus, peuvent être la règle dans tous les océans, mais on a très peu étudié ce phénomène dans le nord. À cause de cette structure en couches (couches d'épaisseur probablement inférieure à un mètre), l'échantillonnage des petits organismes planctoniques est inadéquat. Il est donc important de connaître les détails de cette structure. À ce propos, l'existence de microcouches riches en substances nutritives signifie qu'il nous faudra remplacer le filet usuel par de nouvelles méthodes d'échantillonnage, telles que la pompe à plancton, l'enrégistreur planctonique Longhurst–Hardy, et peut-être le compteur de plancton de Boyd.

Changements climatiques — Les changements climatiques observés au cours des soixante dernières années ont été des plus impressionnants et de grande importance économique. On a besoin d'océanographes physiciens pour surveiller ces changements d'importance vitale pour la production biologique dans le nord. Les changements climatiques ont une amplitude maximale dans les hautes latitudes, du moins à l'échelle temporelle des changements récents ou prévisibles. Bien que le changement ait été le plus prononcé hors des eaux canadiennes, surtout au Groenland occidental et au Spitzberg, il y a eu des fluctuations mesurables dans l'Arctique et le sous-Arctique canadiens, surtout dans la baie d'Ungava et sur la côte du Labrador. En plus de l'importance du changement de climat dans les eaux canadiennes elle-mêmes, le contrôle continu des températures et des salinités, à l'année longue, à certains points stratégiques du nord canadien serait utile et permettrait de suivre, possiblement de prédire, les changements de climat marin ailleurs. Ce travail, en plus de servir nos propres intérêts, serait aussi une partie de notre contribution internationale. On fait remarquer plus bas, par exemple, que la présence du saumon atlantique dans la région du détroit de Davis ces années-ci est certainement le résultat de changements dans les courants froids et chauds et dans leur force relative. Les endroits clefs à surveiller de façon continue sont le détroit d'Hudson, le courant Canadien le long de la côte est de l'île Baffin, la baie d'Ungava et le courant du Labrador.

Étude à long terme d'écosystèmes particuliers — Une caractéristique remarquable des hautes latitudes est la variation qu'on y observe d'une année à l'autre, un peu comme celle qui se produit en réponse à un changement climatique de plus grande amplitude dans le temps. Ces variations se manifestent au début de la floraison

vernale, dans les biomasses annuelles, l'épaisseur et l'étendue de la couche de glace, la chronologie du gel et de la décomposition de la glace au printemps, la nébulosité, et ainsi de suite, facteurs qui sont tous reliés de quelque façon les uns aux autres. Pour suivre convenablement ces variations et comprendre le mécanisme des écosystèmes, il est nécessaire de mesurer sur de longues périodes, hiver et été, les variables qui s'y rattachent. Des travaux de cette nature ont été entrepris par l'Unité arctique de l'ORP dans la baie Frobisher, à l'est, et dans les lacs Eskimo, à l'ouest. Malheureusement, l'opération de la baie Frobisher a été abandonnée en cours de route, à la suite d'une décision du Ministère de déplacer le centre d'activités vers l'ouest. Des études de ce genre devraient être effectuées à d'autres endroits représentatifs au nord, tels que la région îles Belcher–golfe Richmond dans la baie d'Hudson orientale, et à une station de Haut-Arctique dans l'Archipel, dans le détroit de Nansen, par exemple. Une première étude de ce genre, couvrant une année entière, dans les eaux canadiennes fut celle de Grainger dans le bassin Foxe; une investigation couvrant plusieurs années est l'étape logique suivante. Avec des laboratoires convenablement équipés sur le terrain ou de fréquentes visites par air durant toute l'année (comme on l'a fait à Frobisher Bay), on pourra couvrir une gamme étendue d'activités, y compris des mesures appropriées de production primaire et secondaire, des travaux de physiologie et de métabolisme, et des travaux de bactériologie; de plus, on pourra faire le relevé complet des événements dans la zone benthique et dans la biocoenose des glaces, travaux que nous mentionnons brièvement plus bas.

Physiologie animale et végétale — Les travaux physiologiques sur les organismes marins de l'Arctique ne font que commencer à la Station de Sainte-Anne-de-Bellevue du SPSM, maintenant qu'on a enfin ajouté un physiologiste aux effectifs. Il y a beaucoup de temps à reprendre dans ce domaine. On s'est en effet laissé dépasser par les autres pays dans l'étude des taux de métabolisme et de croissance des invertébrés et des poissons, de la physiologie et de l'équilibre thermique des mammifères marins dans le nord et de l'adaptation générale et particulière des animaux et des plantes au climat polaire. Ceci a été presque péniblement évident lors de la récente Conférence SCOR/SCAR sur les océans polaires tenue à Montréal en mai 1974; les études physiologiques et métaboliques provenaient de l'Antarctique et de Pointe Barrow, Alaska, non du Canada.

Microbiologie — La partie microbienne du cycle biologique des eaux polaires a été peu étudiée, à l'exception de quelques travaux sur le microphytoplancton. Partiellement sous le stimulus de l'exploration pétrolière, on a commencé des travaux, ces 3 dernières années, à plusieurs stations canadiennes, y compris la Station biologique de l'Arctique, la Station technologique d'Halifax et l'Institut des eaux douces à Winnipeg. Les exigences métaboliques et thermiques des bactéries qui dégradent l'huile sont à l'étude, et on fait des expériences sur le terrain. Il est à espérer que ces travaux conduiront à un élargissement de la gamme de recherches microbiologiques dans les eaux arctiques pour inclure le cycle de production normal. En ce moment, pour ne mentionner qu'un point, on ne sait pas encore si oui ou non les producteurs de substances nutritives règlent leur métabolisme selon la température, comme dans le cas des formes tempérées. C'est là un point important qu'il faudrait trancher une fois pour toutes.

Matière dissoute et particulaire — La matière organique dissoute et particulaire dans la mer est en rapport étroit avec les bactéries marines. Ici aussi, il existe un vide notoire dans nos connaissances des mers nordiques. Un article traitant de l'amidon dans les eaux arctiques canadiennes et ailleurs (Bursa 1968) a été publié, mais tout le domaine de la matière organique non vivante a été à peine touché. Si l'on ignore les concentrations et les temps de résidence de ce matériel et ses relations avec la partie bactérienne du cycle, nos connaissances de l'écosystème considéré comme un tout sont encore au stade de l'enfance. On a quelques indications que les concentrations de matière dissoute sous forme de « leptopel » et de matière absorbée à la surface de la glace sous forme de « péloglée » sont élevées dans les régions arctiques. Elles joueraient de plus un rôle important en supportant, entre autres, les communautés associées à la glace.

Il y a peu de travaux, si tant est qu'il en a, sur la matière inorganique en suspension dans l'Arctique ou sur les processus de sédimentation en général. Dans la perspective d'explorations et de développements pétroliers intensifiés et de la construction de « superports », la flocuiation et la sédimentation deviennent des problèmes hautement pratiques. Ces processus sont également d'un grand intérêt dans l'étude du microplancton, qui doit sans doute jouer un rôle dans la floculation. Les travaux dans ce domaine pourraient fort bien être combinés avec l'étude du flot entrant dans les estuaires et les rivières, que nous avons mentionnée plus haut au chapitre de l'océanographie physique.

Benthos — Dans son ensemble, le benthos a été négligé au profit du plancton, ce qui est peut-être facile à comprendre durant les premières phases de l'investigation. Une grande partie du travail à faire est purement faunique, porter sur cartes la distribution des espèces; mais l'étude quantitative du benthos est également importante, surtout à cause de son rôle dans la production totale, rôle qui a été démontré par certains travaux récents du PBI. Cette étude devra inclure les algues fixées des eaux nordiques, dont nous ne connaissons pas la biomasse.

Biocoenose des glaces — À venir jusqu'ici, à l'exception de l'étude de Grainger à Frobisher Bay et de quelques stations couvertes par les chercheurs de McGill dans la région de l'île Résolution et de la baie d'Hudson, la plupart des travaux sur ce phénomène ont été effectués à Pointe Barrow, Alaska, par les Américains et les Japonais, dans l'Arctique soviétique par les Russes, et dans l'Antarctique. Sûrement, il importe à ce stade de recueillir des données à toutes saisons sur le rythme de croissance et la biomasse au plus grand nombre de

stations possible: nous sommes quelque peu obligés de combler les vides dans le secteur canadien. On connaît encore très peu la contribution des diatomées de glace à la floraison printannière du phytoplancton. On ne sait pas si les diatomées stimulent cette floraison, ou même s'il y a une relation entre les deux. Les indications sont contradictoires en ce qui concerne les concentrations normales de diatomées, en terme de dominance des formes pennées ou centriques, planctoniques ou benthiques; et bien d'autres problèmes intrigants.

Couches dispersantes et migrations verticales — L'existence même d'une migration nycthémérale verticale significative du phytoplancton au milieu de l'été arctique est encore une question discutée; elle l'est depuis qu'on a commencé à étudier ce phénomène à la fin du XIX^{e} siècle. Je ne connais pas une seule publication sur les migrations nycthémérales dans l'Arctique canadien, bien que quelques travaux inédits aient été faits sur le terrain. Il y eut en réalité, et ceci est surprenant, très peu de fait dans ce domaine à nulle part dans les mers polaires, au nord ou au sud. Ce phénomène a un intérêt particulier en relation avec le cycle saisonnier de la lumière dans les hautes latitudes et une importance pratique dans l'alimentation et le comportement des poissons et des mammifères marins. Les couches dispersantes n'ont pas reçu beaucoup plus d'attention, à en juger par la littérature. Les seuls travaux nord-américains publiés à ce jour sont ceux de Nansen, effectués sur l'île T-3 sous les auspices de l'Université McGill et de l'U.S. Office of Naval Research, et portant sur une couche que Hunkins, de l'Observatoire Lamont, N.Y., avait découverte en poursuivant d'autres travaux. On a trouvé en fait deux couches dispersantes dans la mer de Beaufort, l'une à environ 50 m produite par des mollusques ptéropodes et l'autre, d'une profondeur variant entre 20 et 180 m, probablement causée par le saida. C'est là aussi un sujet négligé, d'importance à la fois théorique et pratique.

Écologie de l'océan Arctique — Le Canada ne joue pas le rôle qu'il devrait dans les études biologiques de l'océan Arctique. Deux équipes de l'Université McGill ont travaillé sur l'île de glace T-3 avec l'aide financière de l'U.S. Office of Naval Research, et il y a eu des travaux biologiques de faits dans le cadre du Programme du plateau continental polaire. Par ailleurs, plusieurs problèmes des plus intéressants n'ont pas encore été résolus, entre autres la distribution et les origines du plancton, de même que la collecte et l'interprétation de carottes de sédiment. L'étude du plancher de l'océan en vue de connaître les climats passés est encore dans son enfance, et on devrait aborder ce domaine des plus intéressants.

Effets de la glace dans la zone littorale — On a peu étudié la résistance des espèces littorales arctiques en hiver, non plus que leur comportement de l'été à l'hiver. Nous avons peu de détails sur la transition entre les conditions sous-arctiques et celles du Haut-Arctique, ou encore sur le gradient des populations du rivage selon la latitude et les conditions du Haut-Arctique.

Évolution des faunes et des écosystèmes marins arctiques — Ce sujet paraîtra peut-être trop « académique » pour être mentionné dans le présent travail, mais je crois que, sous plusieurs rapports, des études de ce genre sont pratiques, car elles permettent de mieux comprendre les distributions, les systèmes présents, etc., et devraient faire partie de tout programme d'océanographie biologique qui se dit complet. On devrait étudier, par exemple, le degré de polymorphisme des faunes arctiques comparativement à celui des faunes des latitudes plus basses, de même que les processus de spéciation.

Pêcheries

Toute la recherche fondamentale décrite plus haut s'applique aux pêches ou peut contribuer à leur développement futur. Dans le cas des eaux arctiques, cependant, il a été établi de façon assez probante qu'il n'existe pas de ressources halieutiques suffisantes pour supporter une exploitation commerciale de quelque envergure, et que les poissons, comme groupe, réussissent peu dans ce milieu. Ceci s'applique également à la baie d'Hudson. Aux bordures subarctiques, comme dans le sud de la mer de Beaufort et de la baie d'Ungava, il y a quelque possibilité d'utiliser la morue franche (baie d'Ungava), la morue arctique, le hareng et la plie du Pacifique (mer de Beaufort), mais seulement pour une pêche de subsistance ou comme ressources auxiliaires. La côte du Labrador est une autre question; la pêcherie du Labrador, qui se pratique depuis longtemps, a été récemment désappointante. Elle a certainement besoin de recherches fondamentales.

Le saumon atlantique du Groenland occidental n'entre pas dans le mandat du présent article, sauf peut-être pour ce qui est d'un contrôle continu de nos régions sous-arctiques en vue d'y détecter des changements de climat marin au-dessous de la surface et de pouvoir prédire ces changements. Ceci est également pertinent aux ressources halieutiques de la côte du Labrador. Il est difficile de se soustraire à la conclusion que la présence du saumon au Groenland occidental n'est que temporaire, le résultat d'un changement climatique qui n'est pas du tout compris. Des recherches sur ces changements eux-mêmes et sur les signaux qui guident le saumon dans sa migration seraient un excellent investissement.

Mammifères marins

Il y a peu à dire sur les mammifères marins. Le travail écologique effectué sur les Pinnipedia a été de premier ordre et en volume adéquat. On en sait beaucoup moins sur les baleines, mais on se propose de faire bientôt des recherches dans le nord sur le béluga, le narval et les grandes baleines, et ce, d'une façon aussi complète que dans le cas des phoques et du morse. Nous manquons toutefois encore de connaissances sur les migrations du morse, surtout parce qu'il est très difficile de le marquer de façon satisfaisante. La physiologie, par opposition à l'écologie, des mammifères marins dans leur ensemble a été négligée dans le nord du Canada.

Pollution et autres menaces à l'environnement

Les études d'impact en vue de prévenir une pollution de quelque source que ce soit peuvent difficilement faire une distinction entre le domaine de la biologie et celui de l'océanographie physique. Il peut y avoir exception en ce qui a trait aux effets directs des polluants sur des organismes individuels. Le transport des polluants et celui des petits organismes dépendent tous deux du mouvement de l'eau. Si l'on se propose de déverser les rebus de broyage à une certaine profondeur dans la mer (comme cela peut se produire dans le détroit de Strathcona, au nord-ouest de l'île Baffin), les effets du déversement sur les populations vivantes dépendront de la façon dont les rebus seront transportés par les courants locaux et prédominants. Il est donc de la plus haute importance que, dans toutes ces études d'impact, les propositions soumises soient étudiées avec le plus grand soin par les océanographes, physiciens aussi bien que biologistes. Un des dangers très réels de la présente politique d'impartition (« Make or Buy ») du gouvernement est que, si l'on achète cette sorte de « recherche », il peut arriver que ce soit un très mauvais investissement, une compilation *pro forma* de chiffres plus ou moins inutiles, sans interprétation, sur autant de feuilles de papier.

Pour ce qui est de la construction de pipelines, les gazoducs sont présentement au premier plan. Il faut donc connaître les effets des gaz (surtout du méthane) sur les organismes marins. On peut tout aussi bien se préparer pour l'huile. Nous avons mentionné plus haut que l'étude des bactéries qui dégradent l'huile était commencée. Les journaux et certaines publications plus spécialisées affirment souvent que la biodégradation de l'huile aux basses températures des eaux arctiques sera extrêmement lente. On l'ignore encore. De fait, la principale question est de savoir si oui ou non les bactéries impliquées règlent leur métabolisme selon la température, un phénomène commun chez les poecilothermes aquatiques. S'il existe un mécanisme régulateur, et si les bactéries ont développé des taux métaboliques plus élevés que ceux qu'on serait en mesure d'attendre par une extrapolation des conditions tempérées, il est possible que le processus soit aussi rapide dans l'Arctique qu'ailleurs. À part les basses températures et la présence de glace qui compliquera le problème, les mêmes mesures de prévention et de contrôle de déversements d'huile devront être prises dans l'Arctique qu'ailleurs. Il y a déjà des travaux en cours sur le comportement de l'huile dans des eaux recouvertes de glace.

Considérations internationales

Nous avons fait remarquer que, sous certains aspects mentionnés plus haut, le Canada ne s'était pas encore acquitté de son obligation de contribuer à l'égal des autres pays au volume croissant de connaissances sur l'océanographie biologique polaire. Les travaux écologiques canadiens sur les mammifères marins, surtout les Pinnipedia, sont à la hauteur de cette obligation. Par contre, dans d'autres domaines, comme la physiologie, la microbiologie et les mécanismes écologiques, dans l'ensemble et dans le détail, nous sommes loin en arrière des États-Unis (Arctique et Antarctique), de la Scandinavie, de l'Union soviétique et peut-être aussi du Royaume-Uni et du Japon. Compte tenu de la grande étendue de notre domaine arctique et sous-arctique, on ne peut maintenir cette position encore bien longtemps.

Établissement, laboratoires, navires

Tenant compte de la petite taille de la Station biologique de l'Arctique à Sainte-Anne-de-Bellevue et de ses débuts encore plus modestes, on est surpris de constater tout ce qui a été fait. Pour donner suite aux recommandations qui précèdent, il faudra probablement doubler d'ici quelques années l'établissement existant. Il faudra certainement (1) construire au moins un autre laboratoire permanent dans le nord et (2) construire ou acheter un navire plus grand, en plus de maintenir des bateaux plus petits, ou encore de s'assurer la coopération d'autres laboratoires, comme le Laboratoire d'océanographie de l'Atlantique, afin qu'un navire approprié soit assigné, pour plusieurs années à venir, à des travaux dans l'Arctique.

Il est remarquable qu'en dépit de l'importance du Nord pour le Canada, et qu'en dépit de toute l'attention donnée par le Parlement tant au Nord qu'à l'Océanographie, le Canada n'ait pas encore fait construire un seul navire spécialement équipé pour la recherche océanographique dans le nord, sauf deux petits bateaux, le *Calanus* et le *Salvelinus*. Le *Labrador* n'entre pas dans cette catégorie; il a été construit comme unité navale et non spécifiquement pour la recherche. On l'a par la suite relégué au rang de brise-glace pour le compte du ministère des Transports. Malgré tout le vaillant travail du *Calanus* (et bien qu'il soit approprié à des travaux détaillés dans les fjords et détroits), on ne peut pas dire que ce navire répond à nos besoins océanographiques dans le nord. L'*Hudson* n'est pas non plus un navire entièrement construit pour l'Arctique, bien qu'il soit quelque peu renforcé contre les glaces. Le SPSM a besoin d'un navire de recherches dans l'Arctique, réellement capable de travailler dans la glace, à peu près de la taille du *Dawson*, construit spécialement pour des recherches océanographiques et attaché à un groupe tel que la Station biologique de l'Arctique, dont la mission est strictement nordique.

Parmi les laboratoires arctiques actuels, seul l'établissement des lacs Eskimo, installé dans des remorques, donc temporaire, sert spécifiquement à des études biologiques. Inuvik n'est pas un site idéal pour des travaux de biologie marine (l'île Herschel serait de beaucoup préférable). La nouvelle station d'Igloolik, si elle est suffisamment accessible aux océanographes biologistes, est bien située. Frobisher Bay, avec ses facilités d'accès et une tradition de travaux biologiques déjà établie, est une addition nécessaire: elle est à proximité de la baie Baffin et du détroit d'Hudson, deux régions stratégiques pour l'étude des ressources biologiques et des changements climatiques. Une station scientifique d'une certaine importance sur la côte du Labrador aurait dû être établie il y a plusieurs décennies.

Annexe II — Références

BURSA, A. S. 1961. The annual oceanographic cycle at Igloolik in the Canadian arctic II. The phytoplankton. J. Fish. Res. Board Can. 18: 563–615.

1968. Starch in the oceans. J. Fish. Res. Board Can. 25: 1269–1284.

DUNBAR, M. J. 1958. Physical oceanographic results of the "Calanus" expeditions in Ungava Bay, Frobisher Bay, Cumberland Sound, Hudson Strait and Northern Hudson Bay, 1949–1955. J. Fish. Res. Board Can. 15: 155–201.

1968. Ecological development in polar regions: A study in evolution. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.J. 119 p.

DUNBAR, M. J., AND G. HARDING. 1968. Arctic drifting stations: A report on activities supported by the Office of Naval Research. The Arctic Inst. North Am. Coord., J. E. Sater, 315–326.

GRAINGER, E. H. 1959. The annual oceanographic cycle at Igloolik in the Canadian arctic I. The zooplankton and physical and chemical observations. J. Fish. Res. Board Can. 16: 453–501.

HANSEN, W. E. BULLEID, AND M. J. DUNBAR. 1971. Scattering layers, oxygen distribution and copepod plankton in the upper 300 meters of the Beaufort Sea. Mar. Sci. Cent. Manuscr. Rep. No. 20: 84 p.

MCLAREN, I. A. 1967a. Introduction to biological studies of Ogac Lake, a landlocked fiord on Baffin Island. J. Fish. Res. Board Can. 24: 975–980.

1967b. Physical and chemical characteristics of Ogac Lake, a landlocked fiord on Baffin Island., J. Fish. Res. Board Can. 24: 981–1015.

STEELE, D. H. 1972. Biology of *Gammarellus angulosus* (Crustacea, Amphipoda) in the northwestern Atlantic. J. Fish. Res. Board Can. 29: 1337–1340.